

Curiosa teoría, seriamente argumentada, sobre la extinción de los dinosaurios, construida a partir de una hipótesis sorprendente: la existencia de una pequeña estrella compañera del sol, Némesis, cuya infuencia hace que, en ciertas ocasiones, gran cantidad de cometas se dirijan hacia el sistema solar, con la posibilidad de que alguno de ellos choque con la Tierra; según el autor esto fue lo que ocurrió hace unos sesenta millones de años.



24

D. M. RAUP

EL ASUNTO NÉMESIS (LA EXTINCIÓN DE LOS DINOSAURIOS)

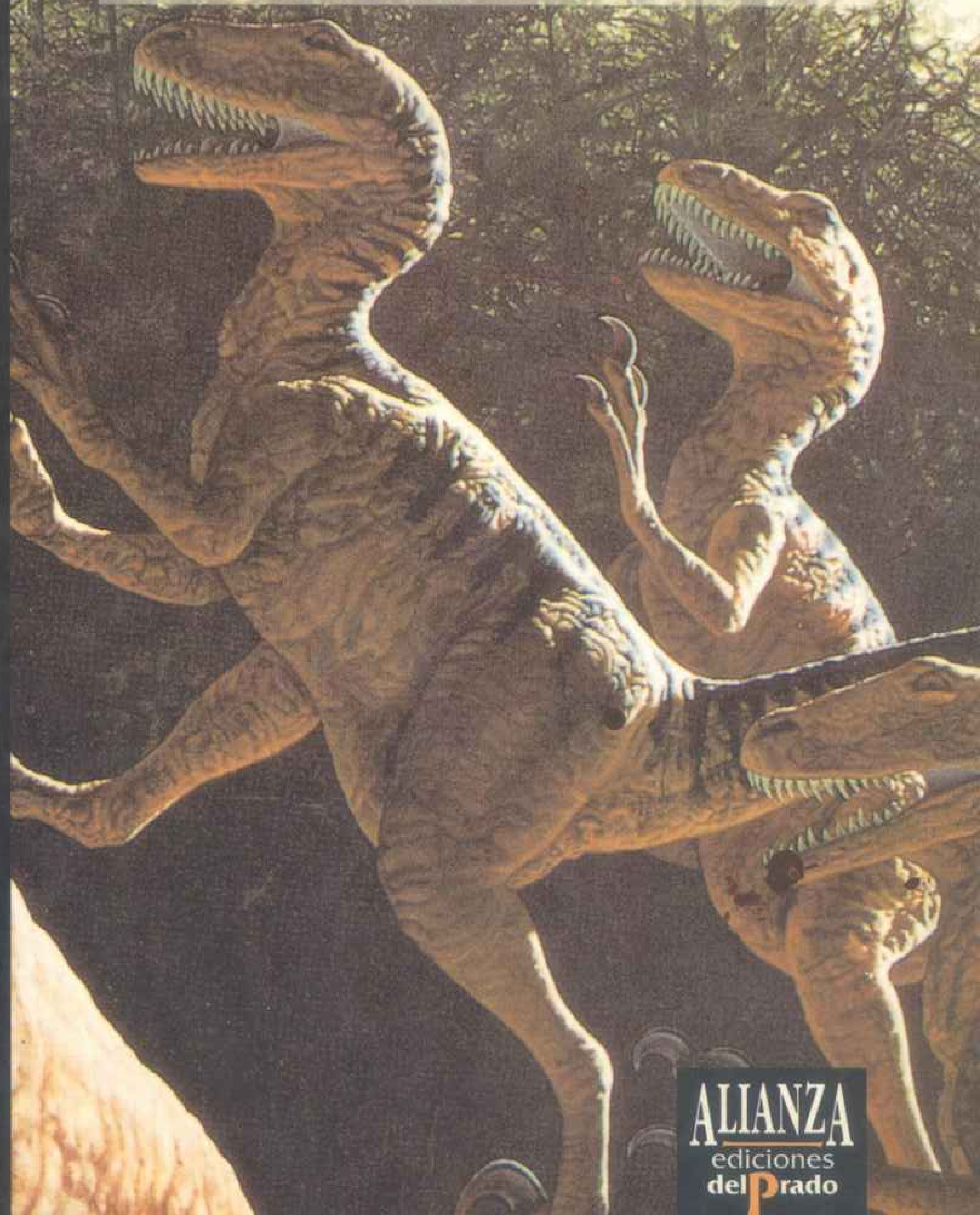
ALIANZA
ediciones
del Prado

BIBLIOTECA TEMÁTICA ALIANZA

DAVID M. RAUP

EL ASUNTO NÉMESIS
(LA EXTINCIÓN DE LOS DINOSAURIOS)

Una tesis original que explica, a partir de la estrella Némesis, la extinción de los dinosaurios de la faz de la tierra



ALIANZA
ediciones
del Prado





El Asunto Némesis
Una historia sobre la muerte de
los dinosaurios

BIBLIOTECA
TEMÁTICA
ALIANZA



David M. Raup

El Asunto Némesis

Una historia sobre la muerte de los dinosaurios

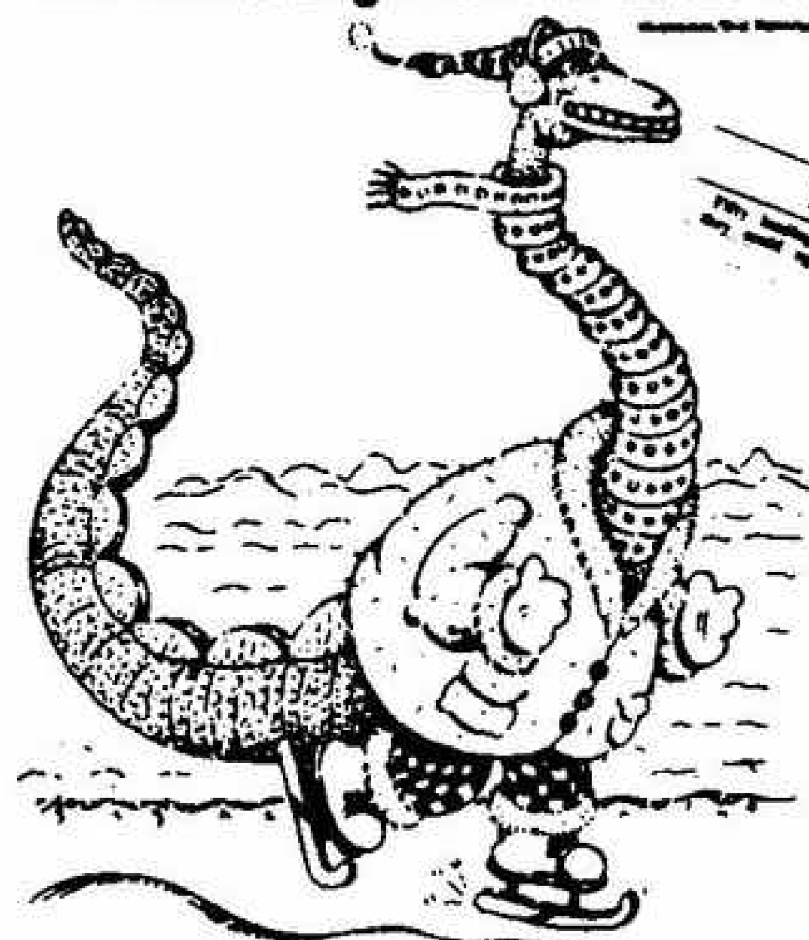
ALIANZA
ediciones
del Prado

Título original: *The Nemesis Affair. A Story of the Death of Dinosaurs and the Ways of Science*
Traducción:Nazaret de Terán Bleiberg
Diseño de cubierta: Angel Uriarte y Digraf
Ilustación de portada: *Dinosaurio Iguanodote Lakotaensis (Fragmento)*

I.S.B.N.: 84-7838-411-1
Depósito Legal: M-14200-1994
Impreso en Coimoff, S.A.
c/ Acero, 1. 28500 Arganda del Rey (Madrid)
Printed in Spain

A todos los inconformistas que persisten en desafiar al conocimiento convencional. Se les ocurren nuevas ideas por pura diversión o por terquedad innata. Sin ellos, nos equivocaríamos aún más a menudo.

Scientific Chicagoans: what did in the dinosaurs?



1984 ASTRONOMY & PHYSICS
STORIES OF THE YEAR
THE SEARCH FOR A DEATH STAR

Mere hiccups in the history of time

Evolution
Scientists pose new 'extinction' theory

Ellen Goodman
Musings of a Dinosaur Groupie

Nemesis Star Near Dipper, Scientist Says

Nemezis—gwiazda śmierci
BOZENA KASTORY

A new dinosaur theory of beguiling simplicity

SCIENZA
NUOVE SCOPERTE SULLA STORIA DELLA TERRA
Di catastrofe in catastrofe

Mass Extinction Study Certain to Spark Debate
By GEORGE ALEXANDER



DID COMETS KILL THE DINOSAURS?

SCIENCE
A Death-Star Theory Is Born: Nemesis

Nemesis und das Große Sterben

THE NEW YORK TIMES, SUNDAY, DECEMBER 11, 1983
Study Indicates Extinctions Strike in Regular Intervals

Dibujo de la esquina superior izquierda de Slug Signorino, del Chicago Reader.

Ha habido veces en los últimos tres años en que mi confianza en los estudios sobre la extinción se ha tambaleado. Los análisis estadísticos que Jack Sepkoski y yo empleamos para afirmar el carácter periódico de la extinción podrían haber sido erróneos fácilmente, y en ese caso habríamos hecho trabajar a otros muchos científicos y a numerosos periodistas en balde. Cuando me encontraba en uno de estos momentos de crisis se me ocurrió la idea de escribir este libro, como una estrategia antifracaso. Si todo el programa de investigación se venía abajo, podría describir mi historia como un descubrimiento científico erróneo. Cuanto más lo pensaba, más me llamaba la atención la idea de publicar una crónica del fracaso científico. Y estoy en deuda con Nancy S. Philippi por hacerse eco de la idea y mantenerla viva en momento difíciles. Al final, no tuve paciencia para aguardar el resultado. Y los próximos años nos dirán si esto ha sido una historia de éxito o fracaso.

Estoy muy agradecido a una serie de amigos y colegas que me ayudaron con el manuscrito. En especial, me gustaría dar las gracias a Susan Alexander, Joan Chandler, Stephen Jay Gould, Anne Hornickel, David Jablonski, Daniel McShea, William Provine, Mickey y Marian Raup y David Walsten. Glenda York ayudó muchísimo con la logística y Mary Wall diseñó las ilustraciones en un plazo de tiempo apretadísimo. Y Lorna Gonzales me insultó lo bastante como para mantener el proyecto en marcha.

Hay que ofrecer un agradecimiento especial a los científicos que tuvieron un papel crucial en el desarrollo del Asunto Némesis, pero que por descuido no aparecen en el texto. Dos de ellos son Victor Clube y Dale Russell: inconformistas que han defendido explicaciones poco convencionales de la extinción en masa y no han recibido el suficiente reconocimiento.

Mi editor de Norton, Edwin Barber, es todo lo que debería ser un editor y le agradezco su ayuda y su sabiduría. También debo dar las gracias a mis padres, Hugh y Lucy Raup, por tantos años de intrépido apoyo y, sobre todo, por sus lecciones sobre cómo ser un inconformista constructivo. Por último, los hechos de este libro deben mucho a innumerables colegas investigadores, de Chicago y del mundo entero. De éstos, debo dar las gracias especialmente a Jack Sepkoski, con quien he estado inmerso en los problemas de la extinción durante varios años. Sea cual sea el resultado de la ciencia, esta asociación ha sido enormemente valiosa.

Capítulo 1
La «estrella de la muerte»

Esta es la historia de una teoría científica reciente sobre la extinción de los dinosaurios y otras formas de vida prehistóricas. Pero también es una descripción del modo en que funciona la ciencia, según lo ve un participante. Hace cinco años, casi todos los paleontólogos se mostraban bastante satisfechos de su ignorancia sobre las causas de la extinción. Efectivamente había muchas teorías, pero no creo que la mayoría de la gente pensara que algún día se desentrañarían las complejidades de aquella gran muerte en masa. Como paleontólogo, yo compartía la opinión convencional: la extinción era un problema fascinante, pero no se prestaba a soluciones fáciles.

Ahora todo esto ha cambiado y la ciencia de la paleontología, en tiempos bastante anticuada, se encuentra en un torbellino de excitación y controversia. Los astrofísicos, los expertos en la atmósfera, los geoquímicos, los geofísicos y los estadísticos contribuyen al problema de la extinción. Y el gran público está participando a través

de debates televisivos, reportajes de revistas, editoriales periodísticos e incluso alguna que otra mención en las notas de sociedad.

La historia de los últimos cinco años en los estudios sobre la extinción, y especialmente el papel de la «estrella de la muerte» llamada Némesis, es interesante por derecho propio y trataré de describirla con un orden razonable. Pero el motivo principal que tengo para escribir este libro es decir algo sobre el modo en que funciona la investigación científica y cómo ella y la sociedad contemporánea se influyen mutuamente. La ciencia no es el esfuerzo puro y aislado que se describe normalmente. Rara vez es un simple proceso de plantear hipótesis, idear pruebas experimentales y esperar el «sí» o el «no» como respuesta. Aunque a veces las respuestas son sencillas, lo que no es sencillo es conseguir publicarlas y que sean aceptadas por la comunidad científica. Y los científicos son víctimas de las mismas emociones y los mismos sistemas de fe que el resto de las personas.

Némesis: la teoría

Némesis es uno de los diversos nombres que recibe la pequeña estrella compañera de nuestro Sol. Esta pequeña estrella se encuentra actualmente a unos dos años luz de distancia y se está alejando. Pero dentro de pocos millones de años volverá y se dirigirá de nuevo hacia la Tierra. El viaje de regreso durará otra docena de millones de años aproximadamente y, antes de completar la órbita, Némesis habrá pasado cerca del Sol. Lo bastante cerca, de hecho, como para atravesar la Nube Oort, una capa de billones de cometas que giran en torno al Sol describiendo sus propias órbitas más allá de los planetas exteriores. Al pasar Némesis por la Nube Oort, su propia fuerza gravitatoria desviará algunas de las órbitas de los cometas al azar. La mayoría de ellos será lanzada fuera del Sistema Solar, pero algunos serán empujados hacia nosotros. Como resultado, uno o más de los cometas errantes colisionará con la Tierra. Y sabemos por los registros geológicos de la historia terrestre que tales colisiones pueden ser devastadoras. Un incidente aniquiló a los dinosaurios y otro acabó con los últimos seres parecidos a cangrejos llamados trilobites. Muchas de las principales crisis biológicas de nuestro pasado —las extinciones en masa— fueron provocadas, evidentemente, por la conmoción medioambiental de lo que se conoce en el oficio como «impacto de un gran volumen». Y dado que la órbita de Némesis tiene un período fijo de 26 millones de años, las catástrofes biológicas se producen cada 26 millones de años. Un gran reloj celeste controla los destinos biológicos de la Tierra.

La historia de Némesis ya es conocida, por lo menos a grandes rasgos, para los lectores de *Time*, *Newsweek*, numerosas revistas de ciencia populares y la mayoría de los periódicos importantes. El *New York Times* ha publicado por lo menos tres enérgicos editoriales sobre el tema y *Time* ha sacado un largo reportaje sobre Némesis. La parte científica de estos artículos es bastante buena hasta donde llega, pero el desarrollo de las investigaciones es mucho más complejo.

A pesar de la publicidad errónea, hay unos cuantos hechos ineludibles. En primer lugar, nadie ha visto jamás a Némesis y no existe ninguna prueba directa basada en la observación de que nuestro Sol tenga una estrella compañera en absoluto. Jamás se ha visto la Nube Oort de cometas. Y el fallecimiento de los dinosaurios debido al impacto de un cometa es discutible. La periodicidad de 26 millones de años en las extinciones en masa puede ser real o no: se trata de una deducción estadística bastante

abstrusa a partir de datos bastante confusos. Es decir, no sabemos si la historia de Némesis tiene algo de cierto. Pero tampoco se trata de una historia inverosímil al estilo de Kipling, porque existen algunas pruebas para todos los elementos de la historia. Es una teoría nueva en proceso de demostración. ¿hipótesis?

La comunidad científica está envuelta en una acalorada controversia sobre la idea de Némesis. Para algunos observadores, el «descubrimiento» de la «estrella de la muerte» anuncia una forma totalmente nueva de estudiar la Tierra y su vida, una revolución científica. Para otros, es como si la ciencia se hubiera vuelto loca. Sin embargo, la idea sólo lleva con nosotros desde finales de 1983, y las investigaciones que nos podrían llevar de la teoría al hecho acaban de empezar.

Conexiones

Un reportero de un periódico describió la historia de Némesis diciendo que tenía de todo menos sexo y la familia real. Incluso se ha propuesto que el nombre de la «estrella de la muerte» sea cambiado por el de Diana, para poder incluir todo lo que es de interés humano.

Permítaseme repasar algunas de las conexiones que la historia de Némesis tiene con otras cosas. En primer lugar, por supuesto, explica o asegura explicar algo sobre la muerte de los dinosaurios, que es lo que se han preguntado casi todos los niños y muchos adultos durante generaciones. Hemos oído toda clase de explicaciones de la extinción, desde el estreñimiento hasta la esterilidad, y ni el propio Kipling se habría atrevido a publicar algunas de las ideas más extravagantes que se han propuesto. Pero los dinosaurios murieron y puede que las causas

de aquel acontecimiento tengan algo que decir sobre la habitabilidad del mundo en general.

¿Vivimos en un planeta seguro o deberíamos haber elegido uno mejor? ¿Hicieron algo mal los dinosaurios? ¿? Fuera cual fuese la forma en que murieron, una cosa está bastante clara: su ausencia tras la extinción en masa hace 65 millones de años creó el espacio para que nuestros antecesores mamíferos evolucionaran y se diversificaran. Probablemente, los humanos están aquí ahora gracias (entre otros muchos factores) a la muerte de los dinosaurios. ¡ah! ¿? De modo que cualquier explicación creíble y demostrable de la extinción de los dinosaurios es al tiempo interesante e importante.

Y esto conduce a unas preguntas más inmediatas sobre la habitabilidad del mundo. ¿Qué probabilidad hay de que un cometa o un asteroide choque con la Tierra actualmente? En 1908, un fragmento pequeñísimo de cometa explotó en la aislada comarca de Tunguska, en Siberia, y arrasó unos 15.500 kilómetros cuadrados de bosque. No está del todo claro si esto fue un fenómeno extraño, algo fuera de lo normal, o si es lo que debería esperarse a escalas de la duración de la vida humana, del mismo modo que esperamos huracanes y maremotos. Si los impactos de cometas se concentran realmente a intervalos de 26 millones de años, según sugiere la hipótesis de Némesis, ¿somos relativamente inmunes a tales crisis la mayor parte del tiempo? Si es así, Némesis está agradablemente alejada de la Nube Oort, al menos durante la próxima docena de millones de años.

Esto conduce a otro bloque de problemas. Si ocurre efectivamente un impacto del tipo de Tunguska en nuestros días, ¿qué posibilidades hay de que sea mal interpretado? ¿Se podría confundir con un misil lanzado por un antagonista extranjero? Resulta que el Ministerio de Defensa de EE.UU. y su equivalente en la Unión Sovié-

tica ya han pensado en esto y han montado los medios —eficaces, espero— para evitar tal confusión. Al hacerlo, también ha empezado a llamar la atención la idea de llegar a controlar las trayectorias de los cometas o asteroides entrantes. Cuando un cometa o asteroide está a una buena distancia de la Tierra, se podría alterar su órbita con relativa facilidad disparándole algo. Y esta estrategia se podría usar o bien como defensa, alterando la trayectoria de colisión, o bien como ataque, cambiando la trayectoria del cuerpo entrante para dirigirla a un punto específico de la Tierra.

Un aspecto especialmente curioso de la historia de Némesis es su relación con el planteamiento del invierno nuclear que tanto hemos oído en los dos últimos años. Poco después de enterarnos de que había pruebas sólidas del impacto de un gran volumen que coincidía con la extinción de los dinosaurios hace 65 millones de años, varios geofísicos y especialistas en atmósfera realizaron unos experimentos y cálculos para estimar los efectos sobre el medio de una colisión con un gran pedazo de roca o hielo. Se ha calculado que el volumen impactante sería de unos nueve kilómetros y medio de diámetro. Al tiempo que todos estaban de acuerdo en que el impacto de un volumen tan grande tendría profundos efectos sobre el ambiente de la superficie terrestre, eran necesarias unas sofisticadas simulaciones por computadora para calcular los efectos más o menos exactos. La historia más aceptada (pero no necesariamente correcta) que resulta de esta investigación hace que nuestra atmósfera quede tan saturada de residuos finos y vapor de agua que toda la Tierra se oscurece. Esto, a su vez, impediría que las plantas verdes realizasen la fotosíntesis y provocaría la muerte de los animales activos que dependen de las plantas para su alimentación. Las propias plantas podrían sobrevivir al período de oscuridad y frío si éste fuera lo

bastante corto. Aquí, lo interesante es que los experimentos y los modelos computerizados que se emplearon para el problema de la extinción de los dinosaurios no tardaron en ser recogidos por Carl Sagan y otros y aplicados a los efectos sobre el medio ambiente de una gran guerra termonuclear. Y así nació, en su versión americana, el invierno nuclear.

Existe incluso una conexión con la continua investigación sobre inteligencia extraterrestre: el programa SETI (Search for Extraterrestrial Intelligence) [Búsqueda de Inteligencia Extraterrestre] de la NASA y sus equivalentes en otros países. Parte de la estrategia de investigación sobre la vida en otros lugares del universo ha sido seleccionar los sistemas solares más parecidos al nuestro, basándose en la teoría de que lo que ocurrió aquí es muy probable que haya ocurrido en otros lugares en circunstancias parecidas. Dado que las tres cuartas partes de las estrellas de nuestra galaxia son estrellas dobles o múltiples, y dado que se ha supuesto que nuestro sol es una estrella única (o solitaria), es natural que la investigación del SETI se haya concentrado en estrellas únicas de otras partes. Se ha dado por supuesto que sería poco probable que la vida, tal y como la conocemos, evolucionara en un sistema inestable en el que dos o más soles orbitan en torno a un centro común. Esto probablemente es cierto en el caso de las estrellas dobles en que los soles son aproximadamente del mismo tamaño. Pero la posibilidad de que exista Némesis como una pequeña segunda estrella da pie a la posibilidad de que la evolución de vida compleja pueda prosperar con la adversidad de este tipo de sistema de doble estrella, o incluso requerirla.

Esto no es más que un repaso por encima a las conexiones maravillosas, y a veces extrañas, que la historia de Némesis tiene con otros aspectos de nuestro mundo natural y de las actividadees humanas. Puede que la teo-

ría de Némesis resulte ser un importante paso para nuestra comprensión del mundo natural o un embarazoso período de semidemencia en el conocimiento.

Aunque éste no es un libro autobiográfico, debería rendir cuenta de mí mismo y de mis antecedentes. Nací en Boston a mediados de los años 30 en el seno de una familia universitaria. Mis padres son botánicos, y mi padre fue profesor en Harvard, durante muchos años antes de retirarse en 1967. Yo me gradué en geología y paleontología en Chicago y Harvard, y, tras una breve aventura con la industria petrolífera, he estado en el mundo académico durante la mayor parte de mi vida profesional. Desde hace varios años estoy en la Universidad de Chicago, institución que desde mi parcial punto de vista es el centro intelectual más enérgico y dinámico de América. Actualmente imparto clases en Chicago de geofísica, biología evolutiva y sobre los fundamentos conceptuales de la ciencia.

Mis estudios a lo largo de los años han sido variados y han tenido éxito en el sentido de que he logrado mucho más reconocimiento del que esperaba. Ha sido y sigue siendo divertido y provechoso. He trabajado casi exclusivamente en paleontología, pero no en el tipo de paleontología que la mayoría de la gente piensa. Nada de grandes expediciones de campo, nada de trabajos sobre fósiles de humanos primitivos y nada de grandes deseos de desenterrar y describir nuevas formas de vida pasada. Nunca he descrito o nombrado una nueva especie de fósil, hecho que provocó cierta risa cuando fui elegido presidente de la Paleontological Society (Sociedad Paleontológica) hace unos años.

Fascinado por algunos de los problemas generales situados en los límites de la práctica convencional de la paleontología, he pasado mucho tiempo haciendo estudios muy teóricos y matemáticos sobre la evolución de la vida. Esto me llevó al campo de las computadoras ya a finales de los años 50, con programas FORTRAN para hacer dibujos de caracolas ideales y otros moluscos y con modelos simulados del proceso evolutivo. Este trabajo hizo posible plantear preguntas como ¿cuál es la gama de todas las caracolas posibles, incluidas las que nunca han aparecido sobre la Tierra? o ¿qué aspecto habrían tenido los modelos evolutivos si Darwin se hubiera equivocado?

Mis estudios han resultado un poco chocantes para algunos de mis colegas más convencionales y dedicados al espécimen concreto, pero me he salido con la mía, por lo menos hasta que se presentó Némesis. Para mí, los fósiles son entretenidos hasta cierto punto, pero también lo son los cristales y muchos otros objetos naturales. Los problemas realmente interesantes se relacionan con las preguntas poco convencionales de la teoría. La gran panorámica. Esto es arriesgado, porque las «respuestas» son más a menudo erróneas que correctas.

Breve cronología del Asunto Némesis

La estrella compañera Némesis apareció mencionada por primera vez en un artículo del número del 19 de abril de 1984 de la publicación británica *Nature*, pero debemos remontarnos a 1980 para encontrar las importantes bases de la historia. El resumen se inclinará inevitablemente a favor de los hechos que yo presencié.

Junio de 1980: La publicación *Science* sacó un artículo titulado «Extraterrestrial Cause for the Cretaceous-Tertiary Extinction» («Causa extraterrestre de la extinción en el cretáceo-terciario»), de Luis Alvarez, Walter Alvarez, Frank Asaro y Helen Michel (todos ellos de la Universidad de California en Berkeley). Este fue el primer

anuncio público de la hipótesis de un impacto extraterrestre en la extinción de los dinosaurios basada en un descubrimiento de concentraciones de iridio anormalmente altas en el límite geológico entre los períodos cretáceo y terciario (el llamado *límite K-T*).

Desde 1980 hasta el presente: Varios grupos en diversos países continuaron explorando, tanto en laboratorios como sobre el terreno, la hipótesis de Alvarez del impacto de un gran volumen como una causa de la extinción en masa. Se encontraron muchas más *anomalías de iridio* en todo el mundo, así como pruebas de otras huellas extraterrestres en el límite K-T. En general se produjo una fuerte oposición a la idea entre los paleontólogos y geólogos corrientes, aunque ahora se está notando un cambio gradual a favor de la hipótesis del impacto.

Julio de 1981: El Ames Research Center (Centro de Investigaciones Ames) de la NASA convocó la primera de tres reuniones de trabajo («Workshops») sobre la evolución de formas avanzadas de vida, influencias extraterrestres sobre la evolución y formas de vida avanzadas en el universo. Yo presidí las sesiones, y en ellas participaron varias personas que habrían de destacar en las discusiones sobre Némesis.

Octubre de 1981: Se celebró un congreso en Snowbird, la estación de esquí de Utah, sobre «Geological Implications of Impacts of Large Asteroids and Comets on the Earth» («Implicaciones geológicas de los impactos de grandes asteroides y cometas sobre la Tierra»). Esta reunión, que pronto habría de conocerse como el Congreso de Snowbird, estaba patrocinada por el Lunar and Planetary Institute (Instituto Lunar y Planetario) y la National Academy of Sciences (Academia Nacional de Ciencias) y atrajo a unas 120 personas de muchos campos para discutir y debatir la hipótesis de Alvarez. Los debates fueron tan intensos que el espectacular paisaje y el excepcional clima de Snowbird pasaron totalmente inadvertidos entre los participantes.

Primavera de 1983: Mi colega J. John (Jack) Sepkoski, hijo, y yo empezamos a «atiborrar de números» la versión computerizada del *Compendium of Fossil Marine Families (Compendio de familias marinas fósiles),* de Sepkoski, que se había publicado en 1982. Creímos ver la conducta cíclica o periódica de las extinciones defendida por Alfred G. Fischer y Michael A. Arthur en 1977, que casi todos nosotros habíamos pasado por alto o rechazado con vehemencia.

Mayo de 1983: Asistí a un congreso en Berlín sobre «Patterns of Change in Earth Evolution» («Pautas de cambio en la evolución terrestre») y presente nuestros resultados provisionales sobre la extinción periódica. La ponencia no recibió mucha publicidad. Conseguí no incluirla en la actas del congreso y traté de mantenerla fuera del alcance de la prensa, con cierto éxito.

Agosto de 1983: Nuestra teoría de la periodicidad ya estaba algo más firme y Jack Sepkoski hizo una breve ponencia en un simposio sobre «The Dynamics of Extinction» («La dinámica de la extinción») celebrado en Flagstaff, Arizona, y sugirió que alguna fuerza impulsora desconocida de origen extraterrestre era la responsable de la extinción periódica.

Septiembre de 1983: Aparecieron informes sobre la ponencia de Sepkoski en Flagstaff en *Science, Science News* y *Los Angeles Times,* ofreciendo así a los no especialistas en geología y al gran público el primer resumen de la idea. Esto hizo saltar la chispa del interés entre los astrónomos y los astrofísicos, que había de cristalizarse en el número de *Nature* del 19 de abril de 1984.

Octubre de 1983: Sepkoski y yo enviamos a las *Proceedings of the National Academy of Sciences* (PNAS) (*Actas de la Academia Nacional de Ciencias*) un breve

ensayo dando cuenta de nuestros resultados estadísticos, con el título de «Periodicity of Extinctions in the geologic Past» («Periodicidad de las extinciones en el pasado geológico»).

Febrero de 1984: Se publicó nuestro ensayo de *PNAS:* cinco páginas de análisis estadístico defendiendo la periodicidad de 26 millones de años, y que llegaba a la conclusión de que dicha periodicidad probablemente está gobernada por fuerzas del Sistema Solar o galácticas. Sugeríamos que la causa podría ser el paso del Sistema Solar por los brazos espirales de la Vía Láctea.

19 de abril de 1984: Nature publicó cinco artículos que ofrecían interpretaciones astrofísicas de la periodicidad de 26 millones de años: Michael R. Rampino y Richard B. Stothers, y Richard D. Schwartz y Phillip B. James, sobre el movimiento vertical del Sistema Solar a través de la Galaxia; Marc Davis, Piet Hut y Richard A. Muller, y Daniel P. Whitmire y Albert A. Jackson IV, proponiendo la idea de la estrella compañera, llamada «Némesis» en el artículo de Davis *et al.;* y Alvarez y Muller, sobre el descubrimiento de una periodicidad similar en las edades de los cráteres de meteoritos en la Tierra. Los cinco artículos iban precedidos de unos comentarios editoriales bastante negativos a cargo de John Maddox (redactor jefe de *Nature*) y Anthony Hallam (catedrático de geología en Birmingham).

Enero de 1985: Science Digest utilizó un resumen de la teología de Némesis como la primera de sus «Stories of the Year» («Historias del año») (1984) de astronomía y física.

Enero de 1985: Daniel P. Whitmire y John J. Matese publicaron un artículo en *Nature* afirmando que la periodicidad de 26 millones de años se debía en realidad al movimiento de un Planeta X no reconocido cercano a Neptuno.

Enero de 1985: En Tucson, se dedicó una sesión especial del congreso anual de la American Astronomical Society (Sociedad Astronómica Americana) a discutir la hipótesis de Némesis. Hubo varias críticas a cada una de las hipótesis predominantes. El análisis estadístico de los datos sobre la extinción realizado por Sepkoski y por mí fue objeto de críticas por parte de Scott Tremaine, del MIT.

Marzo de 1985: Richard Kerr publicó una columna sobre noticias de investigaciones en *Science* (basada en el congreso de Tucson) bajo el título de «Periodic Extinctions and Impacts Challenged» («Extinciones e impactos periódicos en entredicho»).

Marzo de 1985: Se publicó en *Nature* mi artículo defendiendo una periodicidad de 30 millones de años en la inversión del campo magnético de la Tierra.

2 de abril de 1985: El *New York Times* publicó su primer editorial sobre el tema («Miscasting the Dinosaur's Horoscope» [«El horóscopo erróneo del dinosaurio»]), que terminaba con la ya famosa afirmación de que «los astrónomos deberían dejar a los astrólogos la tarea de buscar la causa de los fenómenos terrestres en las estrellas».

Mayo de 1985: Time publicó un reportaje sobre la periodicidad y Némesis.

Junio de 1985: Se publicó el primer libro actualizado sobre dinosaurios para niños describiendo la historia de Némesis: *The Dinosaurs and the Dark Star (Los dinosaurios y la estrella oscura),* de Robin Bates y Cheryl Simon. Además, hacia esta época, Shriekback, el grupo de rock británico, grabó una canción basada en Némesis. Y el impacto catastrófico procedente del espacio se convirtió en un ingrediente más habitual de las historias de ciencia ficción.

Junio de 1985: Antoni Hoffman, paleontólogo de Co-

lumbia, publicó un artículo en *Nature* atacando con violencia el análisis estadístico de Sepkoski y Raup sobre los datos de la extinción. Iba introducido por un editorial de John Maddox apoyando enérgicamente el artículo de Hoffman.

Julio de 1985: El *New York Times* publicó su segundo editorial («Nemesis of Nemesis» [«Némesis de Némesis»]) apoyando el análisis de Hoffman.

Octubre de 1985: Wendy S. Wolbach, Roy S. Lewis y Edward Anders publicaron en *Science* un informe sobre la existencia de enormes cantidades de hollín en las arcillas del límite K-T. Se interpretaba el hollín como el resultado de unos enormes incendios provocados por el impacto de un cometa.

Octubre de 1985: Se publicó en *Nature* un artículo de Timothy M. Lutz poniendo en entredicho mi artículo sobre la inversión magnética periódica. El artículo estaba introducido por un ensayo de noticias y comentarios hecho por mí mismo felicitando a Lutz, pero defendiendo la extinción periódica.

Octubre de 1985: Stephen Jay Gould publicó en *Discover* un ensayo redactado en términos bastante fuertes criticando a Hoffman, a *Nature* y al *New York Times.*

Capítulo 2

Catastrofismo e historia de la Tierra

Cuvier contra Lyell

Gran parte de la controversia en torno a la teoría de Némesis se debe a las implicaciones del término, algo vago, de «catastrofismo». En muchos campos de las ciencias naturales, pero especialmente en geología, el catastrofismo es una palabra muy peligrosa. Incluso un comentario fortuito sobre la posibilidad de que algo en la historia de la Tierra pudiera llamarse catastrófico puede provocar torrentes de negaciones e insultos por parte de muchos geólogos.

¿Qué es una catástrofe? Sin duda es algo repentino y, creo, algo que no está predicho de antemano. ¡Es grande! Es decir, grande en comparación con lo que es normal o esperado. También cuenta con un elemento de desgracia. No se describe algo como catastrófico a menos que alguien o algo salga perdiendo. En el mundo de la naturaleza, los grandes terremotos, inundaciones y erupciones volcánicas cumplen los requisitos.

Para el geólogo, existe desde hace tiempo la pregunta de si los hechos catastróficos logran más cambios a la larga que la suma de los procesos diarios más tranquilos y disimulados. Esto se discutió largo y tendido a mediados del siglo XIX, y los resultados de esa discusión constituyen una base vital para cualquier discusión sobre rocas que caen del cielo y matan a los dinosaurios, ya ocurra esto siguiendo un plan de tiempo fijo o de forma errática. La discusión del siglo XIX es suficientemente importante e interesante como para seguirla en parte.

Uno de los naturalistas más grandes de todos los tiempos fue el barón Georges Cuvier (1769-1832), especialista francés en anatomía y paleontología. Trabajó principalmente en los ricos depósitos de fósiles de la cuenca de París y fue un pionero a la hora de desarrollar secuencias geológicas y la historia de la vida. Gran parte de las investigaciones de Cuvier es tan válida hoy día como lo era hace 150 años. Es importante advertir que el barón de Cuvier (y sus numerosos colegas en otras partes de Europa) trabajó varias décadas antes de la publicación, en 1859, de *Origin of Species (Origen de las especies)*, de Charles Darwin.

A partir de sus observaciones en la cuenca de París, Cuvier desarrolló convincentes ideas sobre los procesos terrestres y el curso de la historia biológica. Veía ambos aspectos claramente marcados por el cambio súbito. En el registro de fósiles aparecían organismos, permanecían inalterables durante largos períodos y de repente desaparecían. Y él interpretó este tipo de cambio como un cambio dominado por catástrofes periódicas. Por ejemplo, escribió en 1817:

Estos repetidos avances y retiradas del mar no han sido ni lentos ni graduales; casi todas las catástrofes que los han ocasionado han sido súbitas; y esto es fácilmente demostrable, en especial en lo que atañe a las últimas, cuyos rastros son muy visibles... La vida, por tanto, se ha visto a menudo alterada en la Tierra a causa de terribles acontecimientos, calamidades que, en su inicio, tal vez hayan movido y derrumbado hasta una gran profundidad toda la corteza externa del planeta... innumerables criaturas vivientes han sido las víctimas de estas catástrofes... Sus razas se han extinguido... (traducido del francés).

Esta visión de la historia de la Tierra y de la vida fue discutida por sir Charles Lyell (1797-1875), el gran geólogo británico. Este interpretó las mismas secuencias de formas muy distintas. Por ejemplo, en la primera edición de su famoso manual de geología (1833) escribió las siguientes palabras, bastante rebuscadas:

Oímos hablar de repentinas y violentas revoluciones del planeta, de la elevación instantánea de cadenas de montañas, de paroxismos de energía volcánica... También se nos habla de catástrofes generales y una sucesión de diluvios, de la alternancia de períodos de reposo y desorden, de la refrigeración del planeta, de la súbita aniquilación de razas enteras de animales y plantas y otras hipótesis, en las que vemos el antiguo espíritu de la especulación redivivo y un deseo manifiesto de cortar, en lugar de desatar pacientemente, el nudo gordiano.

Lyell estaba en desacuerdo con Cuvier y lo expresaba de una forma bastante desagradable. La frase «antiguo espíritu de la especulación redivivo» no es en absoluto un cumplido. Y lo que dice sobre desatar pacientemente el nudo gordiano supone que sólo gracias a la honradez y el trabajo duro podrán los geólogos llegar a alguna parte. El catastrofismo se entiende como una conclusión hecha a la ligera.

Como muchos lectores ya se habrán dado cuenta, el debate y la discusión sobre Némesis es una nueva versión de la discusión entre Lyell y Cuvier.

Lyell pasaba, en su manual, a remachar su punto de vista dándole incluso resonancias morales. Escribió:

En nuestro intento de desentrañar estos difíciles problemas, seguiremos un camino distinto, limitándonos a los efectos conocidos o posibles de causas existentes, con la seguridad de que aún no hemos agotado los recursos que el estudio del presente curso de naturaleza puede ofrecer y, por tanto, de que no estamos autorizados, en los inicios de nuestra ciencia, a recurrir a agentes extraordiarios. Nos atendremos a este plan... porque... la historia nos informa de que este método siempre ha puesto a los geólogos en el camino que conduce a la verdad.

Lyell parece más un abogado (su carrera original), un predicador o un político que un científico. Transforma claramente la catástrofe en una cuestión de moral.

La discusión entre Lyell y Cuvier continuó con pleno vigor durante varios años, con activa participación de estudiantes y discípulos por ambas partes. El hecho de que los partidarios de Lyell triunfasen fácilmente ha afectado profundamente al pensamiento geológico y a otros campos afines hasta nuestros días. Es difícil exagerar el poder de la victoria de Lyell y la gravedad de la derrota de Cuvier. Yo tuve una rara oportunidad de apreciar parte de ésto desde el punto de vista francés en el verano de 1985. Un colega francés y yo estábamos hablando durante la cena del estado actual de la biología evolutiva y la paleontología en Francia. Mi amigo comentó que los científicos franceses que conocía dudaban mucho antes de ofrecer nuevas teorías o abrir vías nuevas en sus campos. Le pregunté por qué, pensando en todo tipo de razones sociológicas populares, desde Mitterrand haste el vino. Su respuesta me dejó atónito. Dijo que sus colegas nunca habían superado el desastre de Cuvier y querían evitar que volviera a suceder lo mismo.

En cualquier caso, gracias a la postura lyelliana, actualmente omnipresente, en geología siempre ha sido más aceptable evitar la tentación «de recurrir a agentes extraordinarios» en cualquier intepretación de la historia terrestre. Esto no quiere decir que el paradigma lyelliano no nos haya hecho buen servicio, porque sí nos lo ha hecho. Está claro que muchos fenómenos geológicos se entienden mejor y se explican con mucha mayor corrección como procesos bien conocidos y regulares que se pueden observar, medir e incluso experimentar en el mundo moderno. El presente es ciertamente la clave del pasado.

Además, y quizá en cierta forma esto es más importante, el dogma lyelliano ha hecho posible mantener una clara separación entre la ciencia por un lado y el elemento estrafalario y la religión por otro. No pretendo equiparar estos dos últimos aspectos, pero por lo general ambos se consideran un estorbo, como poco, para la ciencia organizada.

El paradigma lyelliano ha tenido interesantes efectos. Se enseña en las aulas bajo el nombre de «uniformitarianismo» y representa un catequismo que todos los estudiantes aprenden más que bien, aunque siempre hay algo de confusión en cuanto a lo que quiere decir uniformitarianismo. Un ejemplo clásico de algunos de los problemas que ello ha causado es el caso de J. Harlen Bretz y las Channeled Scablands (Costras Acanaladas).

Las Scablands son una zona al este de Washington (al sur de Spokane) donde la erosión ha cavado profundos canales en unos espesos depósitos de material glacial y en la roca volcánica subyacente. El fondo de los canales está relleno de grava gruesa arrastrada desde zonas muy alejadas de ésta. El doctor Bretz realizó un exhaustivo trabajo de campo en la zona de las Scablands en los años siguientes a la Primera Guerra Mundial. Interpretó gran parte de lo que vio como el resultado de una gigantesca

y castastrófica inundación provocada por el deshielo de los glaciales. Para Bretz, la profundidad de los canales, la erosión y el arrastre de la roca volcánica y el relleno de grava apuntaban a una inundación súbita de enormes cantidades de agua, en lugar de a la acción más lenta y tranquila del flujo normal de torrentes y ríos. Bretz fue denunciado enérgicamente por acudir a un «agente extraordinario», y podría haber sido expulsado de la ciencia si no hubiera tenido un puesto facultativo vitalicio en Chicago. Su tesis de la inundación, que recuerda al Diluvio Universal, resultaba totalmente inaceptable para la comunidad geológica. Sin duda, la postura de Bretz era algo débil, especialmente porque no tenía datos creíbles que avalasen una inundación súbita.

Sin embargo, por fin le llegó a Bretz la justificación científica, tras muchos años de desaliento. Surgieron dos nuevos tipos de dato. En primer lugar, unos geólogos que trabajaban independientemente en Montana encontraron pruebas de lo que había sido un gran lago glacial. Dado que este lago probablemente se mantenía en su sitio por medio de diques de hielo, esto daba origen a las riadas. En segundo lugar, la fotografía aérea (y más adelante las imágenes por satélite) se desarrolló hasta el punto de que se podían ver rasgos del terreno que resultaban invisibles desde el suelo a causa de su escala. Las fotografías mostraban crestas en el lecho de varios de los canales que sólo podían ser ondulaciones gigantes del tipo que se encuentra a menor escala en el lecho de la mayoría de los torrentes rápidos. La nueva prueba fue decisiva y la inundación de Bretz se hizo creíble a pesar de la resistencia lyelliana a la idea.

Por fortuna, Bretz vivió para disfrutar de su victoria, aunque hasta 1976, cuando Bretz contaba con 96 años de edad, la Geological Society of America (Sociedad Geológica de América) no le otorgó su premio máximo, la

Medalla Penrose. El caso de Bretz fue una buena lección para toda la ciencia aunque no tuvo mucho efecto básico en los manuales ni, ciertamente, en la práctica general de las ciencias terrestres.

Meteoritos

Los meteoritos, literalmente «rocas que caen del cielo», sin duda cumplen los requisitos como ejemplos de los «agentes extraordinarios» de Lyell. La historia de las opiniones sobre los meteoritos es interesante no sólo desde el punto de vista lyelliano, sino también porque los meteoritos tienen un importante papel en el Asunto Némesis.

«Meteorito» es el nombre que recibe cualquier roca encontrada sobre la Tierra que sea de origen extraterrestre, sin importar de dónde haya venido la roca dentro del Sistema Solar o si empezó su vida como asteroide o cometa. Los meteoritos suelen ser bien característicos y fácilmente identificables; hasta se ha llegado a ver el choque de algunos con la Tierra. Se cree que casi todos son fragmentos formados por asteroides al colisionar entre sí en la zona que separa las órbitas de Marte y Júpiter. Las colisiones desvían los fragmentos, lanzando algunos de ellos a la órbitas terrestres que cruzan por en medio. Unos cuantos de éstos son los bastante grandes como para sobrevivir al viaje a través de la atmósfera terrestre.

¿Qué ocurre con los cometas? El término general de meteorito se aplica a cualquier roca de origen extraterrestre porque existen ciertas dudas sobre si son cometas o asteroides. Sin duda, los cometas chocan con la Tierra y forman cráteres, pero nunca se ha conseguido identificar ninguno con absoluta certeza (salvo tal vez el de Tunguska). Nuestra inexperiencia sobre la colisión de

cometas va unida a nuestra ignorancia sobre la composición de los cometas mismos. La opinión general es que son «bolas de nieve sucias»: en su mayor parte, hielo salpicado de fragmentos de roca. Pero no hemos tenido muestras para analizar. Para empeorar aún más la cosas, existe la posibilidad de que la masa de asteroides del Sistema Solar se renueve pasados largos períodos de tiempo al incorporarse cometas degradados procedentes de la Nube Oort.

Los propios meteoritos se conocen desde hace mucho tiempo, pero hasta hace poco los geólogos no han reconocido que existe un bombardeo regular de la Tierra por parte de meteoritos lo bastante grandes como para formar cráteres. Incluso en 1964, Kirtley Mather, eminente profesor de Harvard, escribía que en la Tierra sólo existen cinco o seis cráteres causados por impacto, de los cuales el más conocido es el Meteor Crater, en Arizona. Durante muchos años se pensó que los cráteres de la Luna eran volcánicos en lugar de estructuras causadas por impacto.

Estas ideas cambiaron totalmente con el desarrollo de medios físicos y químicos precisos para identificar cráteres de meteoritos. Además, la fotografía por satélite ha hecho posible reconocer cráteres demasiado grandes para ser vistos desde el suelo o con fotografías aéreas convencionales. Junto con esto, se ha producido un deseo mucho mayor por parte de los geólogos de tener en cuenta un impacto como origen de rasgos de la Tierra parecidos a cráteres. Actualmente, se han autentificado más de 100 cráteres causados por impacto. Alcanzan una edad de hasta dos billones de años y un tamaño de hasta 140 kilómetros de diámetro. Sin duda quedan por encontrar muchos más cráteres de este tipo y existe un número aún mayor que no ha sobrevivido a los estragos de la erosión. Hay todo tipo de razones para creer que la superficie de la Tierra estaría tan agujereada como la Luna si no fuera por la erosión.

Un aspecto interesante de la historia del estudio de los meteoritos es que las teorías uniformitarianistas de Lyell y sus seguidores han sido capaces de absorber los nuevos hechos y conceptos sin cambiar seriamente el dogma básico. Los meteoritos caen y forman cráteres, a menudo grandes. Una vez aceptado, este patrón entró a formar parte de la doctrina uniformitarianista y ya no se consideró catastrófico. Esto queda ilustrado por la siguiente declaración de George Wetherill y Eugene Shoemaker hecha en 1982:

> Aunque el encuentro físico de estos objetos con la Tierra se puede calificar apropiadamente como «catastrófico», por la magnitud de los efectos que producen, al mismo tiempo son «uniformitarianistas» porque representan la extensión de procesos geológicos observados actualmente en una era geológica anterior.

Se puede afirmar, por tanto, que lo catastrófico en realidad significa algo que resulta desconocido. En cuanto es conocido, ya no tiene por qué llevar esa horrible etiqueta. Los científicos son gente amoldable.

Inconformistas y propuestas temerarias

A lo largo del siglo pasado, el pensamiento geológico y paleontológico ha estado dominado por las teorías de Lyell. A menudo se cita a Cuvier como algo cómico en las clases de introducción a la geología, y a veces como arma para desestimar una idea poco convencional. Con demasiada frecuencia, se ha rechazado una propuesta ligeramente catastrofista acudiendo al barón de Cuvier:

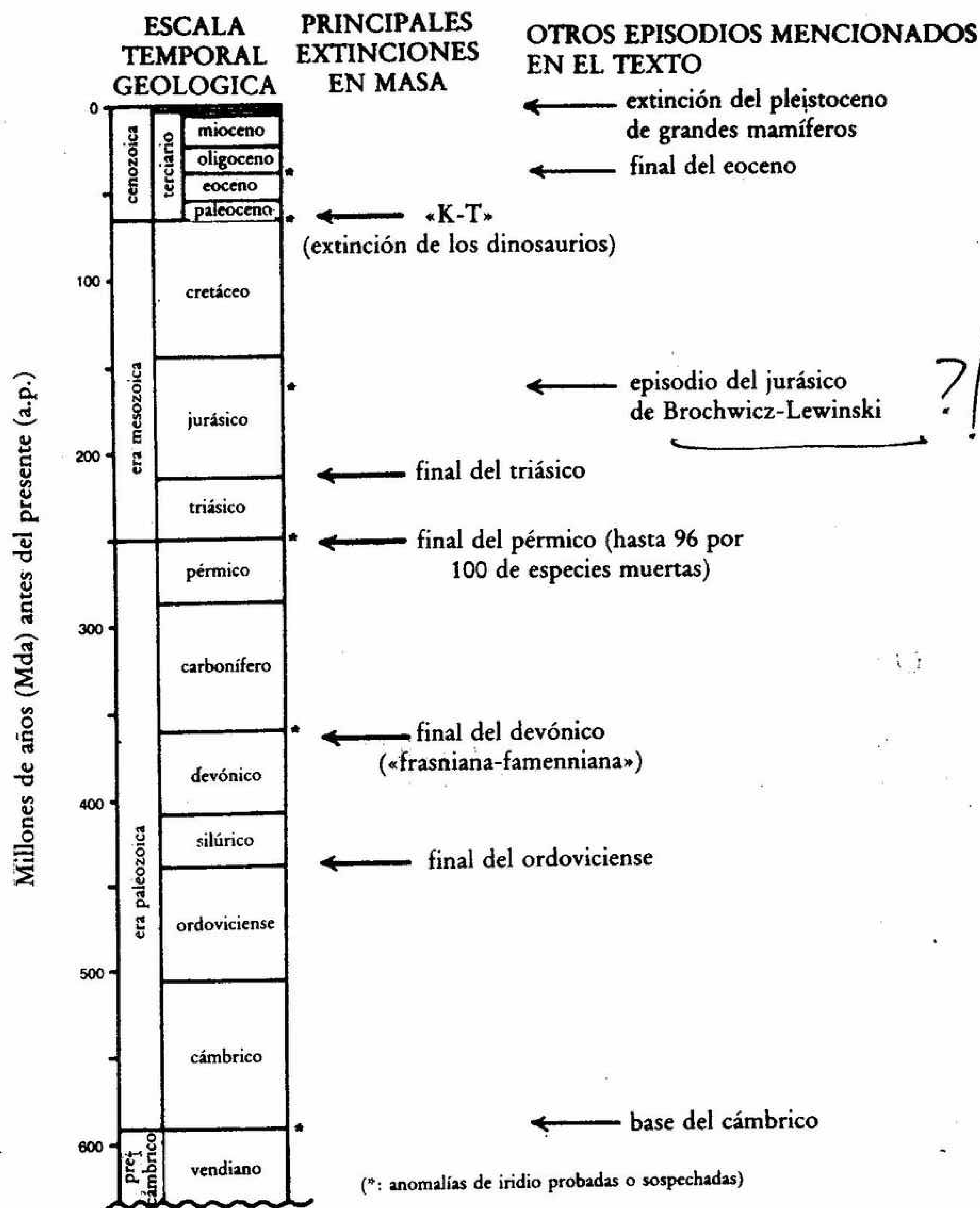
está equivocada porque Cuvier estaba equivocado. Aún más absurdos han sido los intentos de afirmar que Cuvier no quería decir eso realmente. Se dice que la palabra inglesa «catastrophe» es una mala traducción de la palabra francesa empleada por Cuvier, idea que a mí me parece traída por los pelos porque el contexto total de Cuvier parece suficientemente claro.

A pesar de todo este lavado de cerebro, ha habido algún que otro inconformista que ha hecho propuestas sobre la extinción que son definitivamente catastrofistas. Describiré unas cuantas que son especialmente afines al tema de Némesis. Todas se refieren a la extinción en masa por causas extraterrestres.

Otto Schindewolf

Schindewolf era profesor de paleontología en la Universidad de Tubinga, en el sur de Alemania, desde el final de la Segunda Guerra Mundial hasta su muerte, en la primavera de 1972. Era sin duda el especialista en el registro de fósiles más respetado de Alemania y tal vez del mundo, muy conocido por su investigación de la gran extinción en masa ocurrida al final del período pérmico, hace 250 millones de años. A lo largo de los años realizó un intenso trabajo de campo en la Cordillera Salada de Pakistán, una de las escasísimas secuencias de fósiles casi completas que se extiende a lo largo del límite entre las rocas de edad pérmica y triásica. En 1962 publicó un artículo titulado «Neokatastrophismus?». La propuesta de Schindewolf era que la extinción en masa del pérmico había sido causada por la explosión de una estrella cercana, una supernova.

Sin duda, la explosión de una estrella cercana a la Tierra tendría efectos desastrosos sobre la fauna y flora glo-



Escala temporal geológica de los últimos 600 millones de años de historia terrestre. La secuencia de eras (paleozoica, mesozoica, cenozoica) y períodos (cámbrico, ordoviciense, silúrico, etc.) se basa sobre todo en los fósiles. La cronología se calcula mediante datación isotópica para producir una escala temporal en millones de años. Varios de los principales episodios de extinción están señalados con las flechas de la columna central.

bales, pero ello dependería en gran parte de lo cerca que estuviera la estrella. Isaac Asimov ha expuesto que si la supernova estuviera tan sólo a diez años luz de distancia, la radiación visible e infrarroja produciría una ola de calor de muchas semanas de duración con los efectos climáticos subsiguientes. Además, la atmósfera se vería bombardeada por altas dosis de rayos X y radiación ultravioleta. Los efectos biológicos son difíciles de calcular porque todavía padecemos una sorprendente ignorancia sobre las consecuencias de la radiación. Además, gran parte de la radiación sería absorbida por la capa superior de la atmósfera. Si la supernova estuviera a más de diez años luz de distancia, los efectos serían naturalmente muchos menores. Existen datos históricos de avistamientos de supernovas muy lejanas: en Europa, en los años 1604 y 1572, y en China, en 1054.

Una parte importante a la hora de evaluar la propuesta de Schindewolf es la credibilidad estadística. ¿Qué probabilidad hay de que se produzca una supernova por lo menos lo bastante cerca de la Tierra como para causar importantes daños biológicos en algún momento de la historia geológica? Se ha calculado que la explosión de una supernova dentro de una distancia de 100 años luz puede ocurrir sobre una media de cada 750 millones de años, y ésta es una frecuencia razonable para un acontecimiento tan inusual como la extinción en masa del pérmico. Pero si los calculos arriba mencionados son correctos, 100 años luz no suponen ni por asomo una proximidad suficiente para causar estos efectos. Una supernova a la distancia de diez años luz es mucho menos probable. En consecuencia, afirmar que una supernova es la explicación de una extinción resulta realmente bastante descabellado.

Mucho más importante es el hecho de que el profesor Schindewolf no tenía pruebas independientes de ningún

tipo que demostraran la explosión de una estrella en el pérmico. Hizo la propuesta porque la brusquedad y la intensidad de la extinción en masa le resultaban inexplicables de cualquier otra manera. No se le ocurría ningún proceso o fenómeno terrestre que explicara lo que vio en el registro de fósiles. En cierto sentido, actuó por desesperación. Si esta idea hubiera venido de alguien menos experimentado en la historia del pérmico y la paleontología en general, probablemente habría sido desechada por ingenua. En realidad, la propuesta apenas provocó comentarios: unos pocos artículos publicados a lo largo de los años siguientes evaluaron los efectos biológicos de una radiación de alta energía, y eso fue todo. Además, ninguno de nosotros podía hacer casi nada con la propuesta a causa de la falta de rastros geológicos de una supernova en el pérmico.

Digby McLaren

McLaren es un paleontólogo y geólogo canadiense de gran renombre. Fue secretario general del Canadian Geological Survey (Centro de Estudios Geológicos Canadiense) durante varios años y su excelencia como especialista ha sido reconocida de muchas formas, incluidas las presidencias de la Geological Society of America (Sociedad Geológica de América) y la Paleontological Society (Sociedad Paleontológica) y su elección como asociado extranjero de la National Academy of Sciences (Academia Nacional de Ciencias) de EE.UU. Ahora se encuentra en la facultad de geología de la Universidad de Ottawa.

En su discurso presidencial ante la Paleontological Society en 1970, McLaren se explayó sobre su interés principal en geología: el período devónico y en especial la

extinción en masa al final de la etapa frasniana del devónico, hace unos 365 millones de años. Esta extinción se sitúa como la cuarta o quinta más intensa de todas.

McLaren sugirió atrevidamente que la extinción frasniana era el resultado indirecto de un enorme impacto de meteorito. Sin embargo, tuvo mucho cuidado de presentarlo como sólo una de las posibles explicaciones. Como Schindewolf, no tenía pruebas documentales del hecho y, también como Schindewolf, se vio arrastrado a la idea, sobre todo porque no se le ocurría ninguna otra explicación plausible de la brusquedad e intensidad del hecho.

La propuesta de McLaren era más creíble que la de Schindewolf porque se sabe que la caída de grandes meteoritos es bastante corriente. Hacia 1970, se había verificado y datado una buena cantidad de cráteres terrestres causados por grandes impactos. Pero el discurso presidencial de McLaren y su subsiguiente publicación causaron aún menos conmoción que la que había causado el artículo de Schindewolf una década antes. Esto se debió en parte a que McLaren no tenía ninguna prueba, pero yo sugiero que también fue porque para los geólogos y paleontólogos formados en el dogma lyelliano la idea era impensable y por tanto no merecía ser discutida.

Por ello, debe de haber sido muy satisfactorio para Digby McLaren enterarse del descubrimiento de Alvarez de las anomalías de iridio en el límite cretáceo-terciario. Y aún más satisfactorio cuando, en 1984, formó parte de un equipo que descubrió una anomalía de iridio en Australia, justo donde él lo esperaba, encima de la secuencia frasniana.

Harold Urey

La gente por lo general escucha a los agraciados con el Premio Nobel. Harold Urey fue un brillante químico que tenía amplios intereses y capacidades en muchas áreas de la ciencia. Entre otras cosas, era un cosmoquímico muy respetable con unos conocimientos de geología más que pasables. A principios de los años 50, por ejemplo, impulsó a un grupo de químicos, geólogos, paleontólogos y biólogos de la Universidad de Chicago a realizar un proyecto que fue el primero en utilizar relaciones de isótopos de oxígeno en los fósiles para deducir temperaturas del pasado geológico.

En 1973, Urey publicó un pequeño artículo en *Nature* afirmando que varias extinciones de los últimos 40 a 50 millones de años habían sido provocadas por impactos de grandes cometas. Al contrario que sus predecesores, Urey iba armado de pruebas. Observó dos clases de registros históricos: las fechas de las extinciones en el período terciario y las edades de las *tectitas*. Las tectitas son pequeños glóbulos vidriosos que a veces se encuentran en suelos y rocas, y en general se está de acuerdo en que son productos de impacto de meteoritos. Se han reconocido y datado varios casos de formación de tectitas.

Tal vez porque Urey no poseía conocimientos detallados del registro de fósiles de la extinción, empleó un sustituto para las fechas geológicas de las extinciones en el espacio de tiempo que cubrían las tecticas datadas. Utilizó las fechas radiométricas de los límites que separan las subdivisiones del terciario (unidades como el eoceno, oligoceno, mioceno, etcétera), pues era consciente del hecho general de que casi todos los límites en la escala temporal geológica se sitúan en puntos de extinción significativos.

Entonces montó una teoría estadística para afirmar que las edades de las tectitas y los momentos de las extinciones eran demasiado parecidos para ser explicados como mera coincidencia. Su interpretación: impactos de cometas como causa de las extinciones.

Una vez más reinó el silencio. El artículo de Urey en *Nature* no provocó ni el más ligero comentario a pesar de su importancia y autoridad en el mundo de la ciencia. No sé de ningún artículo que cite el trabajo de Urey hasta el artículo de Alvarez en *Science* de 1980 sobre el iridio y los acontecimientos del límite K-T. ¿Por qué? *Nature* se lee con mucha atención en muchísimos lugares. Tal vez a mucha gente que leyó el artículo no le convencieron las estadísticas de Urey y las descartaron sin hacer ruido ni refutarlas. Esto es muy corriente en el mundo científico, porque sencillamente no hay tiempo para preocuparse por todos los artículos fallidos que salen cada mes en las publicaciones científicas. Y el argumento de Urey era bastante flojo.

La otra posibilidad, por supuesto, es que la propuesta de Urey era demasiado avanzada para poder ser atendida, dado el telón de fondo del paradigma lyelliano, es decir, demasiado increíble incluso para ser comprendida, así que no digamos para discutirla. Yo mismo no recuerto tener noticias del artículo en esa época. Si lo hubiera conocido, sin duda le habría encontrado fallos.

El artículo de Urey de 1973 terminaba con la sugerencia de que algún día se podrían encontrar tectitas de edad correspondiente a las extinciones de los dinosaurios del final del cretáceo. Le parecía muy probable que un impacto de cometa causara también esa extinción. Es una pena que Urey no viviera para leer el artículo cuya autoría principal estaba a cargo de otro Premio Nobel, Luis Alvarez.

Los ejemplos de las explicaciones catastrofistas de la

extinción en masa ofrecidas por Schindewolf, McLaren y Urey son instructivos en varios sentidos. Creo que lo más interesante es que cada uno se encontraba en la cima de su carrera e influencia cuando hicieron las propuestas. ¿Es que esto es lo que caracteriza normalmente a las ideas inconformistas? No sé suficiente historia de la ciencia como para afirmarlo. ¿Eran casos de senilidad intelectual? ¡Rotundamente, no! Tal vez las ideas locas broten continuamente en la mente de una pequeña porción de científicos de todas las edades, pero sólo las personas de primera categoría tienen la confianza personal de ponerlas a prueba y el empuje para hacer que sus artículos sean publicados.

En este contexto, he aquí un ejemplo más de un enfoque inconformista del problema de las extinciones en masa. Esto procede de mis propias investigaciones de mediados de los años 70 y tienen un final muy distinto.

El bombardeo de Australia

Durante la mayor parte de los años 70 fui profesor en la Universidad de Rochester. Empezaba a manejar análisis numéricos de las pautas de la extinción en el registro de fósiles. El gran *Compendium (Compendio)* de datos de Jack Sepkoski no se había publicado —acababa de empezar a trabajar en él como estudiante graduado en Harvard bajo la dirección de Stephen Jay Gould—, pero yo tenía una primitiva base de datos en un IBM 7094. No creo que estuviera al tanto de la idea de McLaren de 1970 sobre el meteorito como causa de la extinción, pero había dado con una serie de artículos escritos algunos años antes por el astrónomo irlandés E. J. Öpik.

Opik, experto de primera categoría en cometas, había pensado durante mucho tiempo que el impacto de un

cometa podría causar una devastación y extinción biológica. Su obra no era muy conocida fuera de la astronomía. A mí me atrajo el hecho de que Öpik. pensara no tanto en los efectos globales como en los regionales. Sugería que el daño de un impacto de cometa se limitaría a lo que él llamaba la «zona letal» en torno al punto de impacto.

Esto me interesó en especial porque es una vieja idea de Cuvier. Si, por ejemplo, toda la vida de Australia y Nueva Guinea fuera aniquilada por un desastre bastante localizado, esto produciría la extinción total —y por tanto global— de aquellos mamíferos marsupiales que vivieran sólo en Australia y Nueva Guinea. Por el hecho de que muchas plantas y animales estén naturalmente restringidos a una sola zona o región, no se necesita echar mano de un desastre medio ambiental mundial para producir la total extinción de estos «endémicos». Este provincialismo facilitaría considerablemente la creación de una extinción en masa del tipo que vemos en el registro de fósiles.

¿Cómo podría ponerse a prueba esta idea, aunque sólo fuera su viabilidad? Nuestro conocimiento sobre las distribuciones geográficas de organismos fósiles no es en absoluto lo bastante completo como para preguntarnos si todas las víctimas de una extinción concreta se limitaban a una sola zona o región. Lo mejor que se puede hacer entonces es simular el efecto empleando distribuciones modernas de organismos vivos que son bien conocidos. De este modo, metí en la computadora las distribuciones geográficas de una serie de grupos de animales vivos: aves terrestres, reptiles, anfibios y mamíferos y peces de agua dulce, así como dos grupos marinos: arrecifes coralinos y equinodermos equinoides (erizos de mar y equinaracnios). Esto fue bastante fácil de hacer basándome en los libros de biogeografía.

Luego «bombardeé» estas distribuciones utilizando una simulación Monte Carlo. Este tipo de simulación se llama así porque emplea el lanzamiento de dados computerizado (un generador de números aleatorios) para imitar un proceso natural complejo e impredecible. El programa de computadora eligió blancos al azar sobre la superficie del planeta y asignó un radio letal alrededor de cada uno. Luego, fue una sencilla labor de contabilidad computerizada para determinar cuántos géneros y familias de animales podían ser declarados «extintos» por estar totalmente contenidos dentro de la zona letal. Si los niveles de mortandad fueran de la escala que normalmente consideramos como extinciones en masa en el registro de fósiles, entonces tendría un mecanismo de extinción en masa sin daños medio ambientales globales.

Los resultados fueron algo inesperados. Las simulaciones mostraron que una típica extinción en masa no se podía lograr a través de la aniquilación total en una región a menos que esa región fuera enormemente grande: más de la mitad de la superficie terrestre. Me sentí un poco frustrado por esto porque había estado pensando todo el rato en los marsupiales endémicos de Australia, los corales endémicos de las Indias Occidentales, etcétera. Me sentí tan frustrado que acabé por eliminar la parte del programa de los blancos aleatorios y preparé la computadora para poder dirigir a los cometas imaginarios. Esto me permitiría aniquilar toda la vida de, digamos, Australia o las Indias Occidentales sin temor a que se escaparan algunas partes de la región. Estas simulaciones catastróficas eran fuente de gran diversión para los estudiantes graduados y los profesores subalternos de Rochester. Pensaban que todo el proyecto era una locura. Pero dirigir a los cometas no fue de gran ayuda. Seguía sin poder imitar una extinción en masa aniquilando en pequeñas regiones. Hay muchos marsupiales endémicos

en Australia, pero son tan sólo un pequeño porcentaje de la fauna mamífera mundial.

Cuando la investigación que acabo de describir estuvo completa, naturalmente pensé en publicarla. Aunque los resultados no fueran exactamente lo que yo había esperado, era una útil evaluación de la idea de Opik sobre la extinción en el sentido de que pude marcar ciertos límites matemáticos a su idea. *Pero no hice el menor intento de publicar este estudio porque sabía que se reirían de él, o algo peor.* De modo que archivé todos los datos y programas de computadora y pasé a otros proyectos de investigación.

Algunos años más tarde, el ambiente había cambiado. En octubre de 1981, fui invitado al congreso de Snowbird sobre impactos de meteoritos y extinción en masa. Ante la necesidad de un tema que presentar y escribir para las actas del congreso, nunca he tenido un trabajo más fácil. Desempolvé las viejas simulaciones y las presenté con el título de «Biogeographic Extinction: a Feasibility Test» («Extinción biogeográfica: una prueba de viabilidad»). No era un gran trabajo, pero encajaba muy bien en Snowbird.

Capítulo 3

Los dinosaurios y la muerte de las especies

¡Todas las especies están extintas!

Todas las especies que han vivido alguna vez están, en una primera aproximación, muertas. A los científicos les gusta emplear frases como «en una primera aproximación» o «dentro de un cierto orden» para expresar lo parecidos que son dos números. A veces, no son más que latiguillos para ocultar la ignorancia o convencer al oyente de que las cosas son más precisas de lo que en realidad son. Pero generalmente estas frases tienen un claro significado en un contexto concreto. «En una primera aproximación» quiere decir «casi», y «dentro de un cierto orden» significa «dentro de un factor de diez». Brooklyn y Queens se encuentran, en una primera aproximación, en el mismo lugar de nuestra Galaxia como totalidad. Por otra parte, Brooklyn y Queens no están en el mismo lugar ni por aproximación cuando se ven desde Manhattan. Todos los humanos son, dentro de un

cierto orden, de la misma estatura. Así, siguiendo esta teoría podemos decir que todas las especies que han vivido alguna vez están muertas. El juego se llama extinción.

Alrededor de un millón y medio de especies distintas de plantas y animales vivos han sido reconocidas, descritas y bautizadas con nombres latinos. Y siguiendo trámites y normas internacionales, cada uno de los nombres ha sido publicado, por lo general en revistas científicas reconocidas. A pesar de esta cantidad bastante increíble, la diversidad de especies conocida no es probablemente sino una pequeña porción de la diversidad viva real. Los cálculos recientes, basados en el ritmo actual de los descubrimientos, indican que hoy día existen hasta 40 millones de especies vivas.

A partir de estas cifras y de los cálculos de los promedios de vida de las especies y la duración total de la vida en la Tierra, podemos hacer unos cálculos bastante correctos del número de especies que han vivido en el pasado geológico: la progenie total de las especies en la evolución de la vida. Gracias a un trabajo brillante realizado hace unos diez años por Leigh van Valen, de la Universidad de Chicago, tenemos una fiel idea de cuánto duran las especies, por lo menos como promedios estadísticos. Los promedios varían un poco de un grupo biológico a otro, pero todos entran dentro de un margen sorprendentemente estrecho: de uno a diez millones de años. Las duraciones de las especies son largas en términos humanos, pero muy cortas para un geólogo que trabaja con billones de años de historia terrestre.

Nuestros fósiles más antiguos tienen unos 3.600 millones de años y la exuberante biología de los organismos multicelulares se remonta a unos 600 millones de años. Con unos pocos cálculos, descubrimos que las especies que viven hoy día son sólo un minúsculo porcentaje el número total que ha vivido alguna vez, quizá bastante menos del 1 por 100. Hay discusiones sobre algunas de las apreciaciones que insertamos en los cálculos, pero todos están de acuerdo en que casi todas las especies están extintas.

La omnipresencia de la extinción fue reconocida a principios del siglo XIX y, de hecho, fue de vital importancia para que aprendiéramos a utilizar el registro de fósiles para clasificar el tiempo, es decir, para construir una cronología de la historia terrestre. A causa de la extinción (y, claro está, del origen de nuevas especies para sustituir a las perdidas), los yacimientos de fósiles cambian a lo largo del tiempo. Los cambios permitieron a los primeros paleontólogos montar una secuencia de acontecimientos, del mismo modo que un arqueólogo utiliza los cambios de las culturas humanas en una secuencia de estratos.

Las extinciones no se distribuyen de manera uniforme en el tiempo geológico. Algunos intervalos, que ahora llamamos «episodios de extinción» o «extinciones en masa», presentan la extinción de un número de especies mayor de lo normal. Estos intervalos fueron empleados por los geólogos de principios del siglo XIX para dar nombre a puntos del tiempo que se podían reconocer en todo el mundo. Todavía conservamos los nombres dados a los períodos de tiempo que separan los episodios de extinción. De este modo, no es sorprendente que las extinciones más importantes se situaran y todavía se sitúen en los límites más relevantes de la escala temporal geológica. No es ninguna coincidencia que los dinosaurios se extinguieran en el punto o muy cerca del punto que conocemos como el límite entre los períodos cretáceo y terciario (el límite K-T). Este es también el límite entre dos unidades mayores: las eras mesozoica y cenozoica.

La extinción en masa más grande de todos los tiempos se produjo en el período pérmico, hace unos 250 millo-

nes de años, en el límite pérmico-triásico, o cerca de él, que es también el límite entre las eras paleozoica y mesozoica. Se ha calculado que este episodio eliminó hasta un 96 por 100 de las especies que vivían en los océanos en aquella época: una destrucción casi completa de la vida entera.

El origen de las especies

La discusión previa es mera contabilidad. Sabemos que en la Tierra se han originado muchas especies y que la mayoría de ellas no sobrevivió. Pero ¿qué hay de los procesos responsables de este volumen de producción?

Hace mucho que los biólogos están fascinados por el origen de las especies, pero en realidad hay dos tipos de generación de especies. Uno es el «origen de las especies» del que hablaba Darwin: un simple cambio en una sola línea evolutiva a lo largo del tiempo por selección natural. Si este cambio es lo bastante serio, el resultado es una nueva especie. La forma ancestral no se extingue en el sentido de morir, sino que se cambia o transforma en otra especie. El número de especies que coexisten en un instante del tiempo es siempre el mismo.

El otro tipo de generación de especies se produce cuando un linaje de una especie se divide o ramifica para formar otra coexistente. Más equivalente al nacimiento en un sentido genealógico, éste es el proceso que hace que las poblaciones de especies se multipliquen y así proporcionen el pasto principal de la extinción. Para utilizar la terminología correcta, el tipo darwiniano de transformación de especies se llama «transformación filética» y la ramificación se llama «especiación».

El proceso ramificador de la especiación ha sido objeto de una enorme cantidad de investigaciones en bio-

logía evolutiva en años recientes, ha sido examinado a fondo en simposios internacionales y en una serie de importantes manuales. Aunque el proceso aún tiene aspectos misteriosos, sabemos mucho sobre él.

El número de extinciones de especies probablemente ha sido el mismo más o menos («en una primera aproximación») que el número de episodios de especiación. Si la especiación fuera más frecuente que la extinción a lo largo de cientos de millones de años, la población total de especies crecería de manera desproporcionada y apenas habría espacio. Por la misma razón, si los niveles de extinción excedieran a los niveles de generación a lo largo de grandes períodos de tiempo geológico, se extinguiría todo tipo de vida.

Por tanto, tenemos dos procesos —generación y extinción— que son tan distintos como el nacimiento y la muerte, pero que, a la larga, han mantenido un equilibrio razonable.

El proceso de la extinción

En marcado contraste con la especiación, los biólogos no han aprendido casi nada sobre los mecanismos de la extinción. Como hemos visto, ambos procesos son continuos (al menos geológicamente hablando) y guardan aproximadamente la misma proporción. Sin embargo, los índices de importantes manuales sobre teoría evolutiva, así como los de tratados eruditos, apenas mencionan la extinción. Al parecer no ha habido mucho interés sobre el tema.

Cuando sí se discute la extinción, esta discusión por lo general se ve dominada por los tópicos y las tautologías. «Las especies se extinguen cuando el tamaño de la población reproductora se aproxima a cero.» O: «Las

especies mueren porque ya no pueden hacer frente a su entorno.» Para decir cosas así no hace falta saber mucho sobre el tema.

A mí se me ocurren varias razones para la tradicional falta de interés y la ignorancia sobre la extinción. Una es que el problema puede parecer demasiado simple. Si un organismo no puede enfrentarse a su entorno físico, morirá, según el «análisis», y probablemente merezca morir. ¿Qué explicación podría ser menos interesante desde el punto de vista científico y menos satisfactoria? Muy pocas extinciones registradas en el pasado geológico ofrecen prueba alguna de la inferioridad de las víctimas *salvo* su falta de supervivencia. A los dinosaurios les había ido muy bien durante unos 140 millones de años, y entonces, en un período de tiempo bastante corto (la cantidad exacta es discutible), se extinguieron completamente. Hemos representado caricaturescamente a los dinosaurios como seres bastante bobos y torpes, pero ponerles tales etiquetas es muy antropomórfico. Los mamíferos no evolucionaron súbitamente para echarlos de la Tierra: los mamíferos llevaban coexistiendo con los dinosaurios gran parte de esos 140 millones de años. Los dinosaurios se habían ganado el derecho a sobrevivir. Podemos inventarnos muchas historias sobre la desaparición de los dinosaurios, pero realmente lo único que sabemos es que no sobrevivieron.

Otro serio problema al pensar sobre la extinción surge del uso excesivo del paradigma darwiniano. La contribución más importante de Charles Darwin a la biología fue proponer un mecanismo de adaptación basado en lo que llamó selección natural, más adelante denominada «la supervivencia del más fuerte». Evidentemente, este proceso funciona. Los granjeros sabían mucho antes que Darwin que la cría selectiva podía utilizarse para «crear» nuevas razas de plantas y animales. El granjero puede

eliminar, o evitar que se reproduzcan, los especímenes indeseables y así provocar un cambio en la especie que sea hereditario. Esta es la «transformación filética» que mencioné antes. No se produce una auténtica extinción y no ayuda a explicar la eliminación de todas las poblaciones reproductoras de una especie, o todas las especies de algún grupo biológico mayor.

Una forma de soslayar el problema es aplicar la selección natural de Darwin a un nivel más alto: *entre* especies, en lugar de *dentro* de ellas. Si la especie A recibe más alimento que la especie B, o corre más rápido, o aguanta mejor el frío o el calor, o lo que sea, entonces, dado un tiempo suficiente, la especie B irá perdiendo terreno y se extinguirá. Esta es una idea atractiva y encaja bien con el pensamiento calvinista en que a muchos de nosotros se nos educa. Describe un juego limpio donde al final triunfa la bondad.

Will Cuppy, el gran escritor satírico, lo expresó así:

> La Edad de los Reptiles se acabó porque ya había durado bastante, y para empezar fue una equivocación.

El proceso de extinción que acabo de describir es evidente que parece tan plausible y atractivo, que la investigación experimental y las pruebas apenas parecen necesarias. Y ésta, creo, es la razón más probable de por qué se ha empleado tan poca energía científica para preguntarse sobre los cómos y los porqués de la extinción. Pero la historia de la ciencia ha demostrado una y otra vez que éste puede ser un camino muy peligroso. Las ideas que parecen demasiado evidentes para ser analizadas seriamente, a menudo resultan ser totalmente erróneas.

Por fortuna, se está empezando a estudiar en serio la extinción de las especies, tanto como proceso biológico

en el aquí y ahora como sus impactos en la escala mayor de la evolución de la vida. El empeño entre los biólogos evolutivos y los paleontólogos ha llegado a tal extremo que algunos de los aspectos problemáticos al menos ya tienen nombre. La extinción diferencial de las especies se llama ahora «selección de especies», y los paleontólogos están empezando a distinguir entre la extinción «normal» y «en masa».

Por ejemplo, mi colega David Jablonski ha demostrado recientemente que la selectividad biológica en las extinciones en masa es significativamente distinta de la que ocurre durante los períodos normales entre extinciones en masa. Trabajando con grandes muestras de fósiles de moluscos del período cretáceo, Jablonski demostró que durante la parte «tranquila» del cretáceo, las especies con larvas flotantes o nadadoras tenían unos niveles de extinción inferiores a las especies que empollaban sus huevos. Pero durante el episodio final del cretáceo, esta selectividad desapareció y ambas clases de moluscos sufrieron por igual.

Además de una nueva percepción de la extinción entre los paleontólogos, en todo el mundo la gente se está empezando a preocupar por las especies en peligro y el problema de la extinción contemporánea, especialmente en las selvas tropicales. Nuestra ignorancia en general sobre el proceso de la extinción tiene su versión dramática en la ecología. Sabemos que si se eliminan todos los hábitats de una especie, ésta deberá desaparecer también, pero hay que advertir que ésta es otra de las viejas tautologías. Empieza a haber una investigación seria sobre éste y otros aspectos del problema total.

La muerte de los dinosaurios

A pesar del drama asociado normalmente a los dinosaurios y su extinción, tuvo menos importancia de la que nuestra cultura le ha impuesto. Muchos dinosaurios eran muy grandes y algunos eran realmente feroces, pero jamás «dominaron la Tierra», salvo en el sentido muy restringido de que algunos de ellos eran los principales carnívoros en algunas comunidades terrestres. No dominaban la Tierra más de lo que la dominan los leones de hoy día.

Cuando estaban en su apogeo, los dinosaurios tal vez no llegaran a las cincuenta especies vivas al mismo tiempo. Esta es una cantidad insignificante cuando se la compara con los millones de especies del total de la fauna y flora globales. Ni siquiera entre los vertebrados terrestres las cantidades son especialmente impresionantes. Hay unas 5.000 especies de mamíferos que viven hoy día y una cantidad aproximadamente igual de reptiles. Estas proporciones eran algo distintas en el mesozoico, cuando vivían los dinosaurios, pues había más reptiles y menos mamíferos, pero se hagan como se hagan las cuentas, esos reptiles que llamamos dinosaurios constituían una parte mínima de la biología de la era mesozoica.

Incluso se ha llegado a sugerir que los dinosaurios se extinguieron más debido a la mala suerte que a los malos genes. Teniendo en cuenta que hay extinciones independientes de especies todo el tiempo, cada especie tiene una cierta probabilidad de extinguirse en algún momento dado. Tal vez con tan pocas especies, los dinosaurios como grupo murieron simplemente a causa de la mala fortuna de que todas las especies estuvieran muriendo por distintas razones más o menos al mismo tiempo. Esto sería análogo al caso de todos los jugadores de un equipo de béisbol que no consiguen conectar una sola

bola en todo un partido a causa de la mala suerte individual, en lugar de por algún fallo fundamental del equipo. Esta cuestión se ha analizado matemáticamente en el caso de los dinosaurios, y al parecer no fueron simplemente víctimas de la mala suerte en el sentido que se ha dicho. La desaparición de los dinosaurios en un breve período de tiempo es, desde un punto de vista estadístico, desproporcionada.

Pero esto no quiere decir que los dinosaurios como grupo hicieran algo mal en el sentido de estar mal adaptados a su medio, a menos que se siga la idea tautológica de insistir en que sólo porque murieron debían de estar mal adaptados.

La explicación típica y convencional de la extinción de los dinosaurios es que su medio (biológico o físico) se fue deteriorando gradualmente durante los últimos cinco a diez millones de años del cretáceo hasta llegar a un punto en que ya no había solución posible. El enfriamiento climático es el factor al que más se le echa la culpa como causa inmediata. Efectivamente, el clima de la Tierra estaba en fase de enfriamiento durante los últimos tiempos del cretáceo y los dinosaurios por lo general estaban restringidos a las regiones más cálidas. Además, el número de especies de dinosaurios sí que cayó en la última parte del cretáceo, de modo que hacia el final puede que no coexistieran más de veinticinco.

El planteamiento del deterioro climático es ciertamente posible y puede muy bien ser correcto. El problema es encontrar algo que se parezca a una prueba. Una trampa muy conocida a la hora de analizar registros históricos es lo que el famoso estadístico de Oxford, G. Udny Yule, llamó la «correlación de tonterías». Casi todas las cosas que podemos medir a lo largo del tiempo están cambiando, ya sean los promedios de temperatura de la Tierra o los promedios del mercado de cotizaciones o la

longitud de las faldas. De este modo, si nos fijamos en dos de estos registros, sean cuales sean, es muy probable que se correlacionen (positiva o negativamente): o los dos suben, los dos bajan, o uno sube y el otro baja. El profesor Yule utilizó varias décadas de registros británicos para demostrar que la esperanza de vida de la población en general aumentaba consecuentemente a medida que disminuía el número de fieles de la Iglesia anglicana. Y señaló que era una tontería afirma que la salud pública en Gran Bretaña mejoraba a causa del descenso del compromiso con la religión organizada, o al revés. Empleando la lógica de la «tontería», ¿quién afirmaría que la fuerte correlación entre las tendencias al alza, tanto de la frecuencia del cáncer de pulmón en América como de la posesión de tostadores eléctricos, indica causa y efecto?

Por ello, la correlación observada entre el deterioro climático y el ocaso de los dinosaurios resulta sugestiva, pero en realidad no nos dice gran cosa. En lo que se refiere a Némesis, una pregunta más importante es cuánto duró la extinción. ¿Nos ocupamos de algo que ocurrió en un fin de semana, como sugiere el planteamiento de Némesis, o fue algo que duró millones de años, como sugiere la interpretación climática?

Un argumento que defienden continuamente los detractores de Némesis es que dado que la extinción final de los dinosaurios fue precedida por varios millones de años de descenso en el número de especies (de unas cincuenta a unas veinticinco), las presiones que acabaron con ellos deben de haber sido progresivas y a largo plazo. Y los detractores de Némesis también afirman que el descenso en las cantidades descarta un acontecimiento repentino como el impacto de un cometa, basándose en que no es posible que los dinosaurios hubieran previsto tal acontecimiento millones de años antes. Aunque en

principio este argumento resulta atractivo, no se sostiene.

Es difícil encontrar algún momento de la historia terrestre en que algunos grupos de fósiles no estén aumentando o disminuyendo. Como la longitud de las faldas o el número de fieles de una iglesia en nuestra propia época, las cosas por lo general suben o bajan. Así, advertir que los dinosaurios estaban en decadencia mucho antes de su extinción no excluye en absoluto una catástrofe repentina, ni siquiera explica gran cosa sobre la naturaleza de la presión ambiental que acabó con ellos. De hecho, si la Tierra se vio sometida a una presión ambiental repentina e inusual en algún momento hace 65 millones de años, sería de esperar que los grupos biológicos ya reducidos en número por otras razones fueran más susceptibles de ser eliminados.

Como espero que esté claro a estas alturas, no sabemos por qué los dinosaurios se extinguieron cuando lo hicieron y no sabemos con seguridad cuánto duró el proceso. Una razón de que la idea del impacto resulte atractiva es que un hecho así deja otros rastros suficientes como para posibilitar la localización exacta del acontecimiento.

La situación de los últimos días de los dinosaurios se dificulta aún más porque el registro de fósiles es bastante escaso. La mayor parte de los dinosaurios vivía en terreno seco, en unos lugares que sufren mucha más erosión que sedimentación, por lo que es bastante raro que queden enterrados y fosilizados. A causa de este deslabazado registro de fósiles, no podemos limitarnos a «mirar» las rocas de la última parte del período cretáceo para obtener respuestas.

Otras extinciones del cretáceo

Al final del cretáceo se produjo una de la cinco extinciones más graves conocidas en el registro geológico. Y, como hemos visto, las extinciones de los dinosaurios por sí solas no fueron lo bastante profundas como para merecer ser catalogadas como extinción en masa. En realidad, hubo organismos afectados en toda clase de medio, acuático y terrestre. La imagen más completa la obtenemos del registro oceánico, porque la secuencia sedimentaria marina es más completa y la fosilización es algo más probable en el fondo del mar que en tierra.

El registro de fósiles marinos señala graves extinciones hacia el final del cretáceo, aunque la gravedad depende de la escala que se utilice. En aquella época vivían unas 790 familias taxonómicas de animales marinos fosilizables. Algunas de las familias probablemente sólo tenían una especie, mientras que otras tenían cientos o miles de ellas. La familia media probablemente constaba de 100 especies vivas en un momento concreto, aunque éste es sólo un promedio estadístico de una serie enormemente variable de tamaños de familias.

De las 790 familias de animales marinos presentes en lo que convencionalmente se reconoce como la última parte del cretáceo (el maestricciano), 120, o como un 15 por 100, se extinguieron hacia el final del cretáceo. La cifra del nivel taxonómico de géneros es aproximadamente del 50 por 100. Es interesante el hecho de que el nivel de extinción de los géneros sea mayor que el de las familias, y en realidad nos indica algo sobre la naturaleza de las extinciones. Si algunas familias fueran totalmente inmunes a lo que le ocurrió al medio y otras fueran totalmente sensibles a ello, los dos porcentajes serían iguales. Algunas familias (con todos sus géneros y espe-

cies) quedarían totalmente eliminadas y las otras resultarían ilesas.

Pero esto no es lo que ocurrió. Muchas familias perdieron especies y géneros, pero consiguieron sobrevivir con una sola especie por lo menos. Un buen ejemplo de esto en el ámbito terrestre es la suerte de los mamíferos al final del cretáceo. Solemos pensar en los mamíferos como si fueran supervivientes, pero esto sólo es cierto en el sentido de que la raza sobrevivió. Muchos grupos de mamíferos quedaron muy dañados y perdieron a casi todas sus especies. Los mamíferos marsupiales sufrieron profundas pérdidas y casi se extinguieron, pero consiguieron librarse con unas pocas especies, que, a su vez, más adelante se ramificaron hasta producir la muy respetable diversidad de que ahora gozan en Sudamérica y Australia.

Es importante tratar de calcular la aniquilación de finales del cretáceo por nivel de especies. Esto supone una dificultad porque la fosilización de especies es irregular y se tienen que hacer deducciones matemáticas. En cualquier caso, los mejores cálculos de que disponemos señalan que entre el 60 por 100 y el 80 por 100 de las especies marinas se extinguió. Esto no es tan elevado como el cálculo del 96 por 100 de la extinción en masa del pérmico, pero así y todo está cerca del desastre total e indica unas condiciones que me alegro de no haber presenciado.

Sería bonito ofrecer una sencilla lista de las víctimas y los supervivientes del episodio del cretáceo. Esto no es tan fácil de conseguir, porque dentro de las 120 familias marinas que se extinguieron se incluyen algunos animales bastante oscuros de nombres esotéricos. No obstante, podemos hacer unas cuantas generalizaciones. Los arrecifes tropicales sufrieron mucho, en especial los que fueron construidos en esa época por una almeja bastante

rara llamada *rudist* (que se parecía a una ostra haciéndose pasar por coral). También el zoo-plancton sufrió graves pérdidas, especialmente en aguas tropicales.

Por parte de los supervivientes, los propios corales salieron bastante bien parados de la crisis, como ocurrió con casi todos los animales de las profundidades marinas. En todo esto podemos ver algunas pautas de selectividad basadas en la pertenencia a grupos biológicos, lo cual conlleva ciertos denominadores anatómicos y fisiológicos comunes, y basadas en amplios hábitats, tales como la superficie de los océanos o las profundidades marinas. Pero uno de los retos para futuras investigaciones es llevar a cabo una tarea mucho más exhaustiva de identificación de los ganadores y los perdedores, para que tengamos mejores posibilidades de averiguar exactamente qué presiones ambientales fueron responsables del desastre.

Otras extinciones en masa

Algunas de las demás extinciones fueron más intensas que el episodio del K-T, pero la mayor parte lo fue menos. En todas ellas se da cierta selectividad por anatomía o hábitat, aunque las pautas difieren de una extinción a otra. Dentro de pocos años debería ser posible explicar más cosas acerca de esto, porque una serie de paleontólogos excelentes, aficionados a las estadísticas, está trabajando en el problema. Y los datos sobre la extinción están ya en las computadoras, por lo menos en lo que se refiere a los géneros y las familias de animales marinos, por lo que podemos plantear y contestar algunas de las preguntas más sencillas tras pasar unos minutos ante el terminal de una computadora. La historia del nivel de las familias, muy codificada, cabe en un «floppy»

de dos caras y doble densidad, y la de los géneros ocupa unos diez discos y va en aumento. Más adelante me extenderé sobre lo que hacemos con estos datos, especialmente en lo que se refiere a la cuestión de si las extinciones más importantes se espacian periódicamente en el tiempo.

Otro episodio de extinción del pasado geológico tiene especial interés. Ocurrió en la última época del pleistoceno, entre los años 7000 y 10000 a. de C., y fue enormemente grave entre los grandes mamíferos de Norteamérica y Sudamérica. En cierta época florecían en Norteamérica mamuts, mastodontes, caballos, camellos, perezosos, tigres de dientes de sable y una cantidad considerable de otras clases de animales grandes, pero se extinguieron en un período de tiempo bastante corto. El nivel de aniquilación entre las especies fue aproximadamente del 70 por 100. Es un porcentaje alto, pero como la aniquilación quedó casi totalmente restringida a los grandes mamíferos terrestres, no entra dentro del término de extinción en masa en su sentido normal.

Las causas de esta extinción han sido objeto de acaloradas discusiones durante muchos años. Por supuesto, algunos han insistido en el cambio climático, y ciertamente el final del pleistoceno fue una época de clima muy inestable. ¿O acaso fue lisa y llanamente un colapso biológico de un ecosistema integrado? La idea más interesante con diferencia, y para la cual cada vez hay más pruebas, es que los mamíferos fueron eliminados por el *Homo sapiens*. La época es correcta para que se produjese la migración del hombre desde Asia hasta Norteamérica y, además, se han descubierto zonas de caza que contienen los restos de grandes mamíferos. Esta puede haber sido la primera extinción causada por el hombre.

Capítulo 4

Gubbio y la anomalía de iridio

¿Por qué Gubbio?

Luis y Walter Alvarez, padre e hijo, trabajando en equipo con dos químicos, Frank Asaro y Helen Michel, encontraron una concentración anormalmente alta del raro elemento iridio en Gubbio, en el norte de Italia. Dado que la anomalía se encontraba precisamente en el límite cretáceo-terciario y dado que el iridio normalmente casi no aparece en la corteza terrestre, pero es relativamente corriente en algunos tipos de meteoritos, una interpretación extraterrestre de las extinciones del cretáceo resultaba razonable.

¿Fue este descubrimiento una cuestión de buena suerte o de buen planeamiento? Existen muchas respuestas para ello, pero una cosa es segura: no es un ejemplo del método estereotipado de la investigación científica. El grupo de Alvarez no partió de la formulación de una hipótesis sobre las causas de la extinción para luego ir a Gubbio a comprobar la hipótesis.

Métodos de Trabajo.

Walter Alvarez es un geólogo que estudió en Columbia y Princeton y que ha trabajado varios años en los problemas de la deformación de las rocas. Su método combina un detallado estudio de campo con un cuidadoso análisis teórico y de laboratorio. A finales de los años 70 estaba trabajando en el norte de Italia en una gruesa sección de rocas sedimentarias, en su mayoría calizas, de finales del período cretáceo y principios del terciario. La secuencia rocosa ya era bien conocida en el sentido de que ya se había establecido la cronología basada en los fósiles. Pero la cronología por sí sola no explica nada sobre la cantidad de tiempo transcurrido (en años). Los fósiles son inestimables para montar una secuencia de hechos, pero de poco sirven para explicar algo sobre el tiempo transcurrido, porque los ritmos del cambio evolutivo son demasiado irregulares y además impredecibles.

Para su proyecto geológico, Walter Alvarez necesitaba calcular el tiempo transcurrido. Necesitaba saber si una unidad concreta de caliza o arcilla tardaba más o menos tiempo en depositarse que otra. También le interesaba saber cuánto tiempo representaba una delgada capa de arcilla situada en el límite K-T. Esto podría explicar algo sobre la duración de la transición del cretáceo al terciario.

Para obtener fechas reales (en millones de años antes del presente) habría sido posible en teoría sacar muestras en puntos rigurosamente espaciados dentro de la sección y analizarlas en busca de isótopos radiactivos. Pero la precisión de estos métodos no es por lo general lo bastante buena como para diferenciar edades dentro de un breve período. Además, las rocas de Alvarez no eran las más apropiadas para la datación radiométrica, y los análisis son caros.

De modo que Alvarez y su padre idearon una ingeniosa manera de atacar el problema. Sobre la superficie

de la Tierra cae una lluvia regular de material meteorítico. Los grandes meteoritos que aparecen en los periódicos ofrecen parte de este material extraterrestre, pero en relación con esto es más importante la lluvia de diminutas partículas a veces llamadas micrometeoritos o polvo meteorítico. Las cantidades son pequeñísimas, pero el ritmo de caída es bastante constante. Algunas zonas de las profundidades marinas, demasiado alejadas de tierra para reunir mucho sedimento continental, tienen cantidades apreciables de polvo meteorítico. Cuanto más alejadas están de tierra, mayor es la concentración, porque el polvo está menos diluido por el material procedente de la costa. Por tanto, y esto es lo importante, la cantidad relativa de polvo meteorítico en un sedimento es una medida del ritmo de sedimentación normal. Esto supone una sencilla ecuación:

$$\text{porcentaje de polvo meteorítico} = \frac{\text{(ritmo de caída de polvo meteorítico)}}{\text{(ritmo de sedimentación normal)}}$$

La ecuación se puede reordenar para dar:

$$\text{ritmo de sedimentación normal} = \frac{\text{(ritmo de caída de polvo meteorítico)}}{\text{(porcentaje de polvo meteorítico)}}$$

Así pues, si se conoce el ritmo de caída de polvo meteorítico, se puede calcular el ritmo de sedimentación normal (expresado tal vez en centímetros por cada 1.000 años) a partir del porcentaje de polvo meteorítico encontrado en una muestra del sedimento total.

Todo esto les pareció factible a Walter y a su padre, pero el problema era medir el porcentaje de polvo meteorítico de las rocas italianas. Las partículas de origen meteorítico no se distinguen fácilmente de las partículas normales de arcilla desprendidas de los continentes por

la erosión. Aquí es donde las contribuciones de Luis Alvarez cobraron importancia. Advirtió la necesidad de descubrir alguna propiedad del material meteorítico fácilmente mensurable que pudiera sustituir a los recuentos reales de partículas micrometeoríticas. Decidieron hacer un análisis químico para descubrir la concentración del elemento trazador llamado iridio, a causa de su ausencia casi total en el material normal de la corteza terrestre y su presencia en los meteoritos.

De este modo, con la ayuda de las instalaciones químicas del Lawrence Berkeley Laboratory (Laboratorio Lawrence de Berkeley) y la pericia de Frank Asaro y Helen Michel, se analizó una serie de calizas y arcillas italianas. Se suponía que el resultado le daría a Walter el indicador de los ritmos de sedimentación que buscaba desde el principio.

La sorpresa, claro está, fue que las muestras analizadas procedentes de la pequeña capa de arcilla del límite cretáceo-terciario presentaban mucho más iridio del que se esperaba o del que había en las rocas situadas por debajo o por encima del límite.

Muchos científicos habrían abandonado el proyecto del iridio en este punto. Se podría haber pensado que la concentración de iridio anormalmente alta indicaba simplemente que el método químico no iba a funcionar. El contenido de iridio era demasiado errático para ser útil. Tal vez otros aspectos de la historia de la sedimentación o la posterior a la creación de este depósito estuvieran complicando las cosas. Tal vez las concentraciones de iridio en estas rocas eran por naturaleza demasiado bajas para la clase de distinciones que buscaba Walter Alvarez. Al fin y al cabo, la concentración de iridio más alta encontrada en Gubbio era sólo de 10 partes por billón, y siempre queda cierta incertidumbre en el laboratorio. Por otra parte, los niveles normales de iridio por encima y

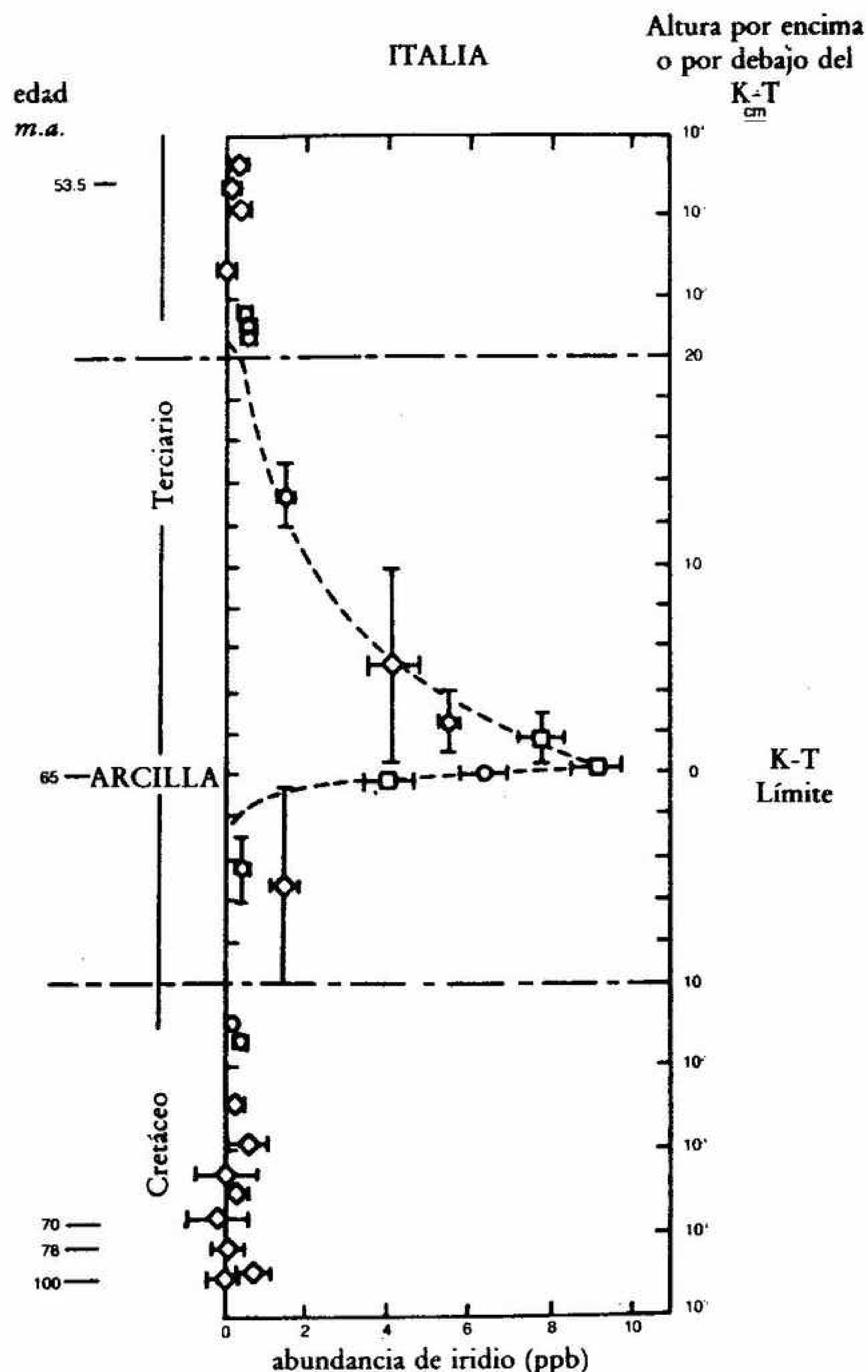
por debajo del límite K-T eran muchos menores, como de tres décimas partes de una parte por billón, de modo que la cifra de 10 partes por billón era realmente anómala.

La bomba de 1980

El artículo principal del número de *Science* del 6 de junio de 1980 detallaba la historia del iridio y proponía un impacto de un gran volumen al final del cretáceo como causa de las extinciones de los dinosaurios y otros animales. El artículo estaba escrito conjuntamente por Luis Alvarez, Walter Alvarez, Frank Asaro y Helen Michel. En realidad, ésta no era la primera noticia de la investigación. Ya se había presentado oralmente un informe preliminar en un congreso de la American Association for the Advancement of Science (AAAS) [Asociación Americana para el Progreso de la Ciencia] celebrado en San Francisco y se empezaba a hablar de ello. Pero para la mayoría de los miembros de la comunidad científica, éste fue su primer encuentro con la idea.

El propio artículo era anormalmente largo para *Science* (catorce páginas de imprenta pequeña en un formato a tres columnas) y contenía muchas más cosas de las que yo he tratado en este breve resumen. Se analizaron otros varios elementos químicos para comprobar la huella meteorítica. Y lo que probablemente es más importante, se descubrió la anomalía de iridio en otras dos localidades: una en Dinamarca y otra en Nueva Zelanda. Esto suponía por lo menos un primer paso para demostrar que los resultados de Gubbio eran algo más que un golpe de suerte o el resultado de un efecto puramente local.

Varias páginas del artículo de *Science* estaban dedicadas a la interpretación de la anomalía de iridio. Las ideas estaban bien razonadas y cuidadosamente construidas,



Curva de iridio mostrando la anomalía del límite K-T de Gubbio, Italia. Los símbolos registran la proporción del elemento iridio en partes por billón (ppb). Una parte por billón equivale aproximadamente a una diez millonésima parte de 1 por 100. El tiempo avanza desde la base hasta la parte superior del diagrama, medido por la distancia en centímetros que hay por encima y por debajo de la capa de arcilla que señala la transición de la caliza del cretáceo a la del terciario. La punta de la curva muestra la posición de la anomalía de iridio. Las líneas de error horizontales indican la incertidumbre del análisis químico y las líneas de error verticales muestran el espesor de la roca de donde se sacó cada muestra. (Según L. W. Alvarez, 1983, Proc. Natl. Acad. Sci. USA, 80: *627-642, fig. 4.*)

aunque, como es inevitable, diversos aspectos de la interpretación han sufrido modificaciones desde 1980. La tesis básica presentada en 1980 era que un gran asteroide chocó con la Tierra hace 65 millones de años y la fuerza del impacto lanzó hacia la atmósfera el equivalente a sesenta veces el volumen del asteroide en forma de roca pulverizada y trozos del propio asteroide (con su iridio). La atmósfera quedó tan saturada de polvo que la luz solar fue bloqueada y la fotosíntesis de las plantas verdes se vio dificultada o se detuvo por completo. Esto, a su vez, interrumpió las cadenas alimentarias y condujo a la desaparición de los animales que, directa o indirectamente, dependían de las plantas para comer.

Se calculó el tamaño del asteroide impactante a partir de la cantidad de iridio descubierta en Gubbio (y en otras partes) y por las concentraciones de iridio conocidas en los meteoritos. Se calculó que el diámetro del volumen era de diez kilómetros (unas seis millas), con un margen de error de cuatro kilómetros por arriba o por abajo.

Reacciones iniciales

Como el sedimento al depositarse, el tiempo ha oscurecido la reacción científica ante el artículo de 1980. Yo recuerdo un poco mi propia reacción en 1980 y trataré de describirla.

Tuve noticia por primera vez del trabajo de Alvarez cuando *Science* me pidió que leyera el manuscrito como parte de su proceso de revisión a cargo de colegas profesionales. En varios sentidos era una revisión a cargo de colegas atípica, dirigida por uno de los redactores jefes, y esto quería decir que el manuscrito era especialmente importante o discutible, o ambas cosas. Además, por mis

SCIENCE

Author ALVAREZ, L.W. ; et al.

Title "Extraterrestrial Cause for the Cretaceous-Tertiary Extinction: Experiment and theory"

Comments:

The potential impact of this paper has cosmic proportions. If the hypothesis is correct, it will have profound influence on geology and evolution -- not to mention philosophy. The paper will probably change the basic thinking of many people. This is fine if the hypothesis is correct. But if it turns out (later) to be wrong, a lot of damage will have been done and it will take years to recover. Because the hypothesis of the paper goes strongly against conventional wisdom, many readers will do their utmost to find fault.

With these considerations in mind, my comments are directed toward encouraging the authors to fill some gaps in their reasoning and to streamline the paper so that it is the cleanest and least ambiguous presentation possible.

(1) The paper needs more general data on natural variation in iridium content. We are presented with the fact that the boundary clays are much higher in iridium than the overlying and underlying limestones but we are given little or no perspective on iridium distribution in other clays, recent sediments, organisms, sea water, and so on. I realize that data are likely to be spotty but I think the present manuscript understates existing knowledge (see below).

(2) Other clay beds. In the data presented, iridium is high at the Cretaceous-Tertiary boundary but the boundary samples are the only ones from a clay-rich sediment. This invites the reader to ask: If other, non-boundary clays had been analyzed, would they turn out to be just as high as the boundary clays? This is such an obvious question that I am surprised that the authors did not analyze other marly clays. This could be done with museum specimens right in Berkeley as the lithology is very common throughout Mesozoic and Tertiary rocks. If non-boundary clays turned out to be low in iridium, the argument for something special at the Cretaceous-Tertiary boundary would be vastly stengthened!

Overall Evaluation

(potential)
- [x] Excellent and exciting, merits rapid publication.
- [ ] Above average, publish if space is available.
- [ ] Belongs in a more specialized journal.
- [x] Mediocre or poor, should not be published

(actual) in Science.

If you recommend publication in Science, please check one or more of the following:
- [x] Opens a new and significant area of research.
- [ ] In an established field, rates in the upper: ___1% ___5% ___10% ___20%
- [x] Provides important information of broad interest to the scientific community.
- [x] Is important to specialists in three or more disciplines, namely:

Geology Paleobiology Astronomy

Confidential Comments:

This paper will surely be published somewhere. While I do not think SCIENCE should publish it in its present form, it would be feather in your cap xxx to publish it in some form. Therefore, I urge that you do everything possible to convince the authors to revise and xxxx rewrite for eventual publication in SCIENCE.

Advisor's Name: Dr. David Raup

Date: 1/18/80

La primera página de mi reseña del artículo de Alvarez de 1980. El formato es el que se utiliza corrientemente para la revisión a cargo de colegas profesionales en *Science*, una de las principales publicaciones científicas internacionales. Mi reseña continuaba con varias páginas de detallados comentarios, críticas y sugerencias. Por lo general se devuelven las reseñas al autor o autores junto con la decisión del redactor de aceptar o rechazar el manuscrito. Generalmente, al autor o autores no se les revela el nombre del revisor. Para los autores, estas reseñas sirven o para explicar y apoyar la decisión del redactor de rechazar el artículo o para ayudar en la corrección si el artículo ha sido aceptado. Adviértase el espacio para comentarios confidenciales (que sólo lee el redactor). *Science* publicó el artículo de Alvarez en junio de 1980, habiendo hecho caso de muchas de las críticas de los revisores, incluidas muchas de las que se mencionan en la página aquí mostrada.

conversaciones con los redactores estaba claro que había algunos problemas, que por lo menos en parte surgían de la anormal longitud del artículo. Me dio la impresión también de que las reseñas que ya tenían eran de todo tipo y que estaban buscando opiniones adicionales. Todo esto es bastante corriente en el sistema de revisión a cargo de colegas profesionales y nunca me he ocupado de averiguar los detalles de este caso.

El manuscrito de Alvarez me planteó una serie de problemas y tuve mucho trabajo con mi reseña. Por una parte, la idea de los impactos de meteoritos como causa de extinciones me era conocida y me resultaba muy estimulante, a causa del trabajo que yo había hecho en Rochester varios años antes sobre los cometas de Opik y el bombardeo simulado de Australia. Por otra parte, descubrí fallos técnicos en el artículo. También era mucho más largo de lo normal para los artículos de *Science*, y esto me hizo reaccionar negativamente. El artículo no estaba muy bien escrito. El estilo me resultaba algo pretencioso. Estos aspectos no deberían haber pesado mucho, pero, no obstante, mi respuesta fue negativa.

Por el lado del contenido, sólo podía evaluar ciertos aspectos de la parte científica: los de los campos en que yo era razonablemente competente. Este problema de la limitación individual ha sido el tormento de todo el Asunto Némesis. El despliegue de disciplinas que abarca Némesis es enorme, desde la paleontología hasta la geoquímica, pasando por la biología, la ciencia de la atmósfera y la astrofísica. No hay un solo individuo que pueda poseer más que un conocimiento superficial de todos los campos pertinentes. En consecuencia, se han cometido muchos errores en los debates y discusiones de las diversas hipótesis.

En mi reseña del manuscrito, me parecieron defectuosos ciertos aspectos e hice sugerencias para la elabora-

ción del estudio y para la revisión de la presentación. Los detalles no son importantes. Sin embargo, terminé mi reseña con una afirmación bastante cruel, que decía:

Si un estudiante graduado me entregara este manuscrito para que lo leyera, me parecería un trabajo brillante (en el sentido de que el estudiante tenía un enorme potencial), pero se lo devolvería para que lo hiciera bien.

Me pareció que era un trabajo descuidado e incompleto, por muy brillante que pudiera haber sido. Nunca he comentado mi crítica con Luis o Walter, y probablemente mi anonimato fue preservado (¡hasta ahora!). Es más, puse a propósito el desagradable comentario justo al final de la reseña, para que el redactor pudiera cortarlo si quería, como ocurre a menudo con los comentarios hirientes de las reseñas. Normalmente no se compara a los premios Nobel con estudiantes descuidados.

He hablado de mis reacciones ante el artículo de Alvarez porque creo que explican algo sobre el funcionamiento de la ciencia. En el fondo, como me incomodaba mucho la anomalía de iridio y su interpretación extreterrestre, la ataqué de un modo posiblemente irracional. Al manuscrito le hacía falta elaboración cuando yo lo vi, pero para eso está el proceso de la revisión. En su versión publicada, el artículo había rellenado muchas de las lagunas, lagunas que yo y sin duda otros revisores habíamos notado. El artículo resultó ser una primera exposición bien clara de una hipótesis y de la pruebas que la apoyaban.

En las semanas y meses que siguieron a la publicación de junio de 1980, el artículo fue muy discutido, mucho más de lo que jamás se discutieron los trabajos anteriores de Schindewolf, McLaren y Urey sobre el mismo tema general. Casi todos los comentarios que oí eran negativos. Algunos se referían al contenido de la investigación, pero era sorprendente los pocos comentarios que había en relación con los detalles de las pruebas y su interpretación. Esto se debe en parte al mundo en que yo vivía, poblado como estaba de paleontólogos, biólogos y geólogos en lugar de geoquímicos y astrónomos. Ninguno de nosotros sabía gran cosa sobre química de elementos trazadores o meteoritos o asteroides. Pero sí que sabíamos mucho sobre las extinciones del cretáceo, y el estudio de Alvarez era importante para nosotros.

Entre las primeras reacciones, algunas de ellas se repetían una y otra vez. De una forma u otra se reducían a los siguientes argumentos:

1. No se sabe lo suficiente sobre la geoquímica del iridio como para justificar las interpretaciones realizadas en Gubbio.

2. El enriquecimiento en iridio de la arcilla del límite K-T podría ser de origen biológico. Al fin y al cabo, muchos organismos concentran ciertos elementos hasta tal punto que, históricamente, se han descubierto algunos elementos en animales marinos antes de ser hallados en el propio mar. El artículo de Alvarez no dice nada sobre esta posibilidad.

3. Se han analizado en busca de iridio solamente rocas cercanas al límite K-T. Hasta que no hayamos hecho un muestreo de toda la columna geológica, no sabremos si las anomalías de iridio son anormales. Toda la interpretación de la extinción se basa en dar por sentada la rareza de la anomalía.

4. ¿Cómo sabemos que la anomalía de iridio no es más que una capa de concentrado formada por una solución química de caliza (que contuviera pequeñas cantidades del elemento) que originariamente estuviera encima del límite K-T?

5. Si un meteorito de diez kilómetros chocó con la Tierra, ¿por qué no ha encontrado nadie el cráter?

6. El planteamiento de la aniquilación basado en una nube de polvo que tapó el Sol es oportunista y no resulta creíble. ¿Por qué no se produjeron extinciones importantes entre las plantas al mismo tiempo?

7. Las extinciones de finales del cretáceo tuvieron lugar a lo largo de millones de años, así que no cabe una interpretación basada en un único episodio de corta duración.

8. El grupo de Alvarez no cuenta con expertos en paleontología, y por ello no está en situación de poder opinar sobre la extinción en masa.

9. Las extinciones en masa son problemas muy complejos y son el resultado de numerosas e intrincadas interacciones entre organismos y entre los organismos con su medio. Una explicación sencilla de un episodio tan complicado como la extinción del cretáceo no es adecuada y lo más probable es que sea errónea.

10. No hace ninguna falta ni se justifica recurrir a fuerzas extraterrestres para resolver problemas terrestres. El enfoque *deus ex machina* se descartó hace años. (¡Gracias, señor Lyell!)

11. El grupo de Alvarez se dio demasiada prisa en llamar a la prensa. Así no se lleva a cabo una buena investigación científica. La atención de la prensa hace que la conclusión resulte sospechosa.

¿Cuál era entre éstos mi propio argumento en aquella época? La opinión de una sola persona, que no participa activamente, no es importante, pero puedo ser algo más preciso (tal vez) describiendo mis propias reacciones que tratando de adivinar lo que otras personas pensaban hace varios años. Lo que recuerdo de esa época es que me sentía cautelosamente optimista sobre la hipótesis del impacto. Cuando los amigos y colegas me preguntaban, por lo general decía algo así como: «Desde luego que espero que tengan razón, pero la hipótesis presenta varios problemas muy serios.» Cuando se me preguntaba acerca de los problemas, probablemente mencionaba uno o varios de la lista que acabo de ofrecer, aunque ninguno de los cuatro últimos.

Una de las primeras reacciones en publicarse de los paleontólogos ante la hipótesis de Alvarez fue un artículo de tres conocidos expertos: William A. Clemens, de Berkeley; J. David Archibald, de Yale (que ahora está en la Universidad Estatal de San Diego), y Leo J. Hickey, del Smithsonian (ahora director del Museo Peabody en Yale). Su ensayo se publicó en el númeo de verano de 1981 de *Paleobiology* con el título de «Out with a Whimper Not a Band» («Se fueron con un gemido, no con una explosión»). Aunque es un estudio tranquilo y meticuloso, los autores no ocultan su opinión sobre la extinción en masa de finales del cretáceo. He aquí unas cuantas citas:

> Los datos paleobiológicos no pueden pasar por alto la posibilidad de que ocurran supernovas, impactos de asteroides u otros sucesos extraordinarios... Sin embargo, los análisis de los datos paleobiológicos indican que no es necesario un suceso así... Es más, no hay ninguna prueba en ninguna época de la historia terrestre que asocie sin lugar a dudas la colisión de objetos extraterrestres con cambios importantes en las pautas de la evolución o la extinción.

> ... la transición del cretáceo al terciario fue un período que duró varias decenas de miles de años, si no cientos de miles, caracterizado por la interacción de un complejo de factores físicos y biológicos...

> ... las extinciones utilizadas para marcar el final del cretáceo no fueron producto de una gran catástrofe. Los estudios bioes-

tratigráficos... revelan que hay distintos grupos que se quedan fuera del registro de fósiles en distintos niveles estratigráficos... Esta pauta es difícil de explicar con una catástrofe repentina de vasto alcance.

Unos dieciocho meses después de la publicación original de Alvarez, yo escribí un breve informe sobre el congreso de Snowbird para *Paleobiology* que expresaba mi propia forma de pensar en aquel momento. Era muy prudente. Aunque básicamente estaba a favor de la hipótesis, veía por todas partes lo que yo llamaba «nubarrones». He aquí algunas citas sueltas:

Existe muy poco información de fiar sobre el contenido de Ir. en el fanerozoico en general... Aún no tenemos la perspectiva que sólo nos pueden proporcionar unos buenos datos geofísicos de toda la época.

... el diagnóstico del sincronismo de las subidas del iridio y las extinciones resulta problemático.

Los efectos de un impacto oceánico no están claros... el tema de los efectos de un impacto resulta problemático en este punto, salvo en que hay un acuerdo general de que los efectos serían grandes.

Un problema realmente grave... es el hecho de que la auténtica cima del cretáceo se ve sólo en unas pocas secciones (sobre todo en Europa occidental).

Todo este problema es muy complicado, y yo, por mi parte, no estoy seguro de cuál es la verdad.

Otra oportunidad que tengo de documentar las reacciones que tuve poco después de la publicación de Alvarez es un artículo que escribí en enero de 1981, titulado «Extinction: Bad Genes or Bad Luck?» («Extinción: ¿Malos genes o mala suerte»). Fue preparado para un

congreso en Barcelona y más tarde se publicó en *Acta Geológica Hispánica*. En este artículo citaba el trabajo de Alvarez *et al.* (1980) y describía varias simulaciones por computadora que hacían preguntas del tipo «¿Qué habría pasado si...?». Si las extinciones en masa son episódicas y repentinas, ¿qué tipo de pautas resultantes deberíamos ver en el registro de fósiles? Me referí a la hipótesis del impacto calificándola de «afirmación», lo cual en la jerga científica (y también periodística) a menudo expresa escepticismo. En un momento dado, escribí:

... Alvarez *et al.* (1980)... afirman poseer sólidas pruebas geoquímicas de una colisión, ocurrida al final del cretáceo, de la Tierra con un meteorito de 10 kilómetros. Aunque este suceso está aún por comprobar, tiene una considerable credibilidad.

Todo lo anterior da una idea de las reacciones iniciales ante el artículo sobre Gubbio. La respuesta corriente dentro de la geología y la paleontología fue negativa en general, pero por lo menos se hablaba del asunto. El grupo de Alvarez estaba consiguiendo que se le escuchara, no como Schindewolf, McLaren y Urey. ¡Las tropas estaban furiosas! Pero muchos científicos de calidad estaban reanalizando viejos datos y trabajando sobre el terreno para obtener nuevos. Varios laboratorios de todo el mundo comenzaron a analizar rocas en busca de iridio y se seguía una serie de vías totalmente distintas para encontrar pruebas a favor o en contra del impacto de un gran volumen en el límite K-T y en otros puntos de la columna geológica. A pesar de las emociones y las ideas preconcebidas, esto constituía una investigación científica como es debido.

Capítulo 5

El espacio de tres metros y otras pruebas

Hell Creek, Montana

Mientras la hipótesis del impacto se desarrollaba a lo largo de los tres o cuatro años siguientes, unos cuantos puntos al este de Montana cobraron fama internacional. En su mayoría son secciones de la formación de Hell Creek cercana al Embalse de Fort Peck, y algunas presentan tanto fósiles de dinosaurios como una anomalía de iridio. Como es lógico, la pregunta que se hacía era: ¿coincidía el último hueso de dinosaurio con el iridio?

En cierto sentido, ésta no es la pregunta fundamental que ha llegado a ser. Como hemos visto, las extinciones de los dinosaurios fueron un componente de relativa poca importancia dentro de las extinciones del final del cretáceo. Además, los fósiles del medio no marino están notoriamente esparcidos, de modo que Montana, con sus yacimientos de dinosaurios, no era un lugar ideal para acabar con las discusiones sobre las causas de las extin-

ciones en masa. No obstante, los dinosaurios efectivamente se extinguieron, y su desaparición (y sustitución por mamíferos de tipo terciario) es un dato importante dentro de la historia de la vida.

Las secciones de Montana se hicieron célebres en parte porque su geología y paleontología habían sido estudiadas por uno de los mejores paleontólogos de todo el mundo especializado en vertebrados: el profesor William A. Clemens, de la Universidad de California en Berkeley. Bill Clemens y Walter Alvarez ocupan el mismo edificio en Berkeley, y los dos se enfrentaron amistosamente por la cuestión de la extinción del K-T desde el principio.

Los primeros análisis apoyaban la tesis de Alvarez. El fósil de dinosaurio más elevado, y por tanto más joven, está por debajo de la anomalía de iridio, como debería ser si un impacto mató a los dinosaurios. Pero hay tres metros (unos diez pies) de sedimento en medio. Para empeorar aún más las cosas, se han descubierto fósiles de mamíferos de aspecto claramente terciario entre el hueso más elevado de dinosaurio y la anomalía. Para Bill Clemens y muchos otros paleontólogos, ese espacio de tres metros era una prueba definitiva de que los dinosaurios ya estaban muertos mucho antes del impacto de un meteorito, aún admitiendo (cosa que no hacían) que hubiera un meteorito.

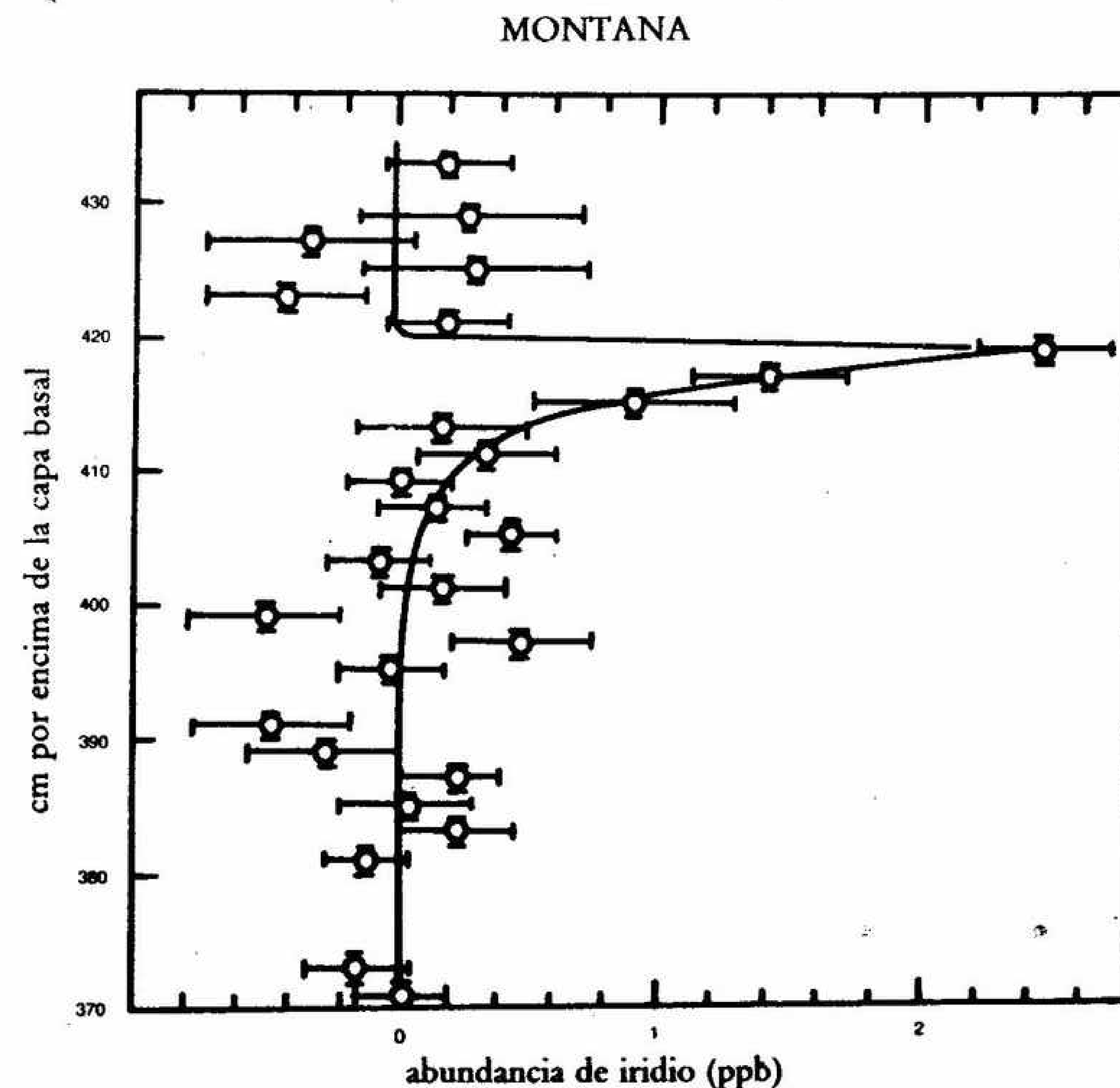
No es sorprendente que la situación planteada en Montana sea más complicada, y la discusión entre Walter Alvarez y Bill Clemens, que implica a muchos de sus colegas por ambos bandos, continúa hasta hoy (salvo que, según me ha dicho Luis Alvarez, Clemens está dispuesto a reducir el espacio a dos metros). No tenemos mucho sitio para extendernos en detalles, pero se pueden mencionar algunos de los elementos más importantes.

Ya advertí antes que el fósil más elevado de dinosaurio

está por debajo de la anomalía de iridio. Esto es cierto sólo si se especifica que, para que algo pase por un fósil de dinosaurio, debe haber una compacta colección de huesos del mismo animal: lo que se llama un espécimen «articulado». En este caso quedan descartados los trozos sueltos y los huesos aislados, porque existen todas las posibilidades de que hubiera piezas aisladas que pudieran quedar enterradas, exhumadas por la erosión y depositadas de nuevo mucho después de la muerte real del animal. En el este de Montana, a veces se encuentran fragmentos de dinosaurio incluso por encima de la anomalía de iridio, pero casi todos los geólogos están de acuerdo en que no se pueden utilizar como prueba de que los dinosaurios aún vivían.

La propia anomalía de iridio es probablemente válida, aunque ha habido cierta discusión al respecto. Las cosas se complicaron un poco al principio cuando resultó que una anomalía se debía a la contaminación en el laboratorio a causa del anillo de boda de platino de un técnico. Los métodos analíticos deben ser cuidadosamente controlados, porque el iridio se da de forma natural en pequeñas cantidades en el platino normal, y dadas las pequeñísimas cantidades de iridio que hay en las rocas, la contaminación accidental puede ser un riesgo. Después de aclararse el problema del anillo de platino, la anomalía de Montana quedó bien confirmada.

La situación del terreno en torno al Embalse de Fort Peck deja mucho que desear. Las rocas son una secuencia algo confusa de depósitos de torrentes y llanuras aluviales. No todos los rasgos críticos se dan en un solo afloramiento. Decir que la anomalía de iridio es más joven que los últimos fósiles de dinosaurio requiere una cierta deducción, aunque este tipo de deducción es de lo más normal en la geología de campo. Y todos los geólogos que han trabajado allí están de acuerdo en que la



Curva de iridio del límite K-T en Montana oriental. La escala de la izquierda muestra la distancia en centímetros por encima de un dato arbitrario situado más abajo dentro del cretáceo. El contenido máximo de iridio no es tan alto como el que se había descubierto en Gubbio, pero con todo destaca mucho respecto del nivel normal. (Según L. W. Alvarez, 1983, Proc. Natl. Acad. Sci. USA, 80: *627-642, fig. 10.)*

anomalía está encima de los dinosaurios. Pero hay menos acuerdo sobre la edad de los mamíferos de aspecto terciario que aparecen encima de los dinosaurios. En vista de que los huesos de mamíferos se encuentran topográficamente por encima de los dinosaurios y por debajo de la anomalía de iridio, el geólodo Jan Smit ha publicado unos estudios afirmando que los restos de mamí-

feros fueron depositados en el canal de un torrente que se formó después de que se depositara el iridio, pero como el canal se abrió paso a través de los sedimentos posteriores, ahora los fósiles están debajo del iridio. Algunos geólogos están de acuerdo con la interpretación sobre el terreno de Smit, y otros, no. Tras un exhaustivo estudio de la zona, David Fastovsky, estudiante graduado de la Universidad de Wisconsin, ha llegado a la conclusión de que es imposible decidirse por una postura u otra, aunque aprecia una ligera inclinación de las pruebas en contra de la interpretación de Smit.

Un aspecto más difícil del caso es la interpretación del espacio de tres metros. ¿Realmente quiere decir que los dinosaurios murieron mucho antes del impacto de meteorito? Bill Clemens y otros paleontólogos han sostenido todo el tiempo que así es. Pero existe un argumento contrario defendido en especial por Luis Alvarez. Advierte que los fósiles de dinosaurio no son muy corrientes aun en el mejor de los casos, de modo que no hay por qué perder la calma por unos pocos metros de roca árida. Tal vez los dinosaurios de Montana estaban vivos durante el tiempo representado por el espacio de tres metros, pero simplemente dio la casualidad de que no quedaron preservados. No se sabe cuánto tiempo representan en realidad los tres metros de sedimento.

Se podría decir que Luis Alvarez, como físico de altas energías, no tiene derecho a pronunciarse de esta manera sobre geología. Pero las personas que no pertenecen a una disciplina, a veces pueden ser muy perspicaces, en parte porque no están influidas por las formas convencionales de interpretar datos dentro de esa disciplina. Para mi gusto, Luis dijo algo en lo que tenía mucha razón.

El paleontólogo que utiliza fósiles para reconstruir la historia geológica se apoya muchísimo en las distribuciones temporales observadas de especies concretas o gru-

pos de especies. La primera aparición y la última son los dos datos más importantes. A medida que se lleva a cabo más trabajo de campo, ya sea en una sola zona o por todo el mundo, las distribuciones observadas de especies tienden a alargarse porque se descubren representantes más antiguos o más recientes. Por ejemplo, el monumental trabajo de los Leakey y otros en Africa oriental ha hecho retroceder consistentemente en el tiempo la serie de fósiles de homínidos a medida que se encuentran más especímenes. Así, la distribución temporal observada en un momento dada es simplemente el mejor cálculo de la distribución en ese momento.

El efecto de extensión de las distribuciones varía dependiendo de la abundancia y de la clase de fósil que se considere. En el caso de organismos muy abundantes y de fácil preservación, por lo general la distribución no se extiende mucho tras la primera fase de exploración. Pero en el caso de organismos que rara vez quedan preservados, puede ser normal que las distribuciones se extiendan con resultados espectaculares. La situación de los dinosaurios está entre los dos extremos, y el argumento de Luis Alvarez de que podríamos no estar viendo el último dinosaurio que vivió en Montana resulta convincente. Como físico, preguntaba por qué los paleontólogos no hacían de forma rutinaria un cálculo de la incertidumbre de todas sus distribuciones temporales, y propuso un método matemático para que esto se pudiera llevar a cabo en Montana. De hecho, lo que preguntaba era: ¿Qué probabilidad hay de que la ausencia de huesos de dinosaurio en los tres metros sea sólo un problema de muestreo? Esta es una buena pregunta que, sorprendentemente, a muy pocos geólogos se les había ocurrido plantear.

La discusión sobre el espacio de tres metros ha sido estimulante y valiosa, pero no creo que haya cambiado

muchas opiniones. Las pruebas matemáticas propuestas por Luis Alvarez no se han llevado a cabo del todo y tal vez no se pueda hacer en el caso de Montana. Este caso se ha convertido casi en la cuestión de si un vaso está medio lleno o medio vacío. Para algunos, los tres metros son una prueba crucial que destruye el eslabón entre el impacto y la extinción. Para otros, los tres metros son una banalidad de comparación con la enormidad de la historia total del mesozoico terrestre. En otras palabras, el físico Luis Alvarez dice que el impacto y las extinciones ocurrieron al mismo tiempo «en una primera aproximación», y el paleontólogo Bill Clemens dice que ocurrieron en momentos muy distintos. Yo me inclino a apoyar a Alvarez, pero nunca he estado en las secciones de Montana, y por ello no estoy en condiciones de pontificar.

Mientras escribo esto, en septiembre de 1985, Bill Clemens acaba de ofrecer otro argumento. La revista *Time* informa que ha descubierto un auténtico filón de restos de dinosaurio en Alaska y dice que esto refuta la hipótesis del meteorito porque demuetra que los dinosaurios pudieron haber resistido la larga oscuridad del invierno ártico. Unos cuantos meses de oscuridad tras un impacto de meteorito no molestarían a los dinosaurios. Habrá que ver cómo se desarrolla esto después de que las pruebas sean asimiladas totalmente y publicadas. ¡Adelante, Bill!

El trabajo de Hell Creek no es la única investigación sobre el impacto que se realiza desde el artículo de *Science* de 1980. Literalmente, cientos de geólogos, paleontólogos, geoquímicos y geofísicos de todo el mundo han aportado su grano de arena, y muchos de los resultados son impresionantes.

Isótopos de osmio

Un aspecto interesante del congreso de Snowbird de 1981 fue una ponencia presentada por Karl Turekian, de Yale. Turekian es un geoquímico muy respetado y también es conocido por su agudo intelecto, que no está sujeto a los convencionalismos. Cuando Karl habla, la gente escucha. Su ponencia de Snowbird no fue para informar de lo que había hecho, sino de lo que pensaba hacer. El osmio es otro de los elementos del grupo del platino que se encuentra comúnmente en los meteoritos, pero rarísima vez en las rocas corrientes de la corteza terrestre. Es más, las proporciones de los isótopos de osmio son sustancialmente distintas en la corteza y en los meteoritos. El plan de Turekian era analizar el osmio de Gubbio y otros puntos del límite K-T para ver qué cantidad de osmio contenían.

Era evidente que Turekian, que es una persona muy efusiva, estaba muy excitado en Snowbird ante el trabajo que planeaba hacer sobre el osmio. También dejó bien claro que esperaba encontrar las proporciones normales de isótopos de la corteza y que su estudio demostraría que la teoría del impacto no era necesaria ni creíble. Por ello, hubo realmente una sorpresa cuando, unos dieciocho meses más tarde, se publicó el estudio de Turekian (en un artículo conjunto con J. M. Luck).

En el artículo se informaba de la existencia de proporciones de isótopos de osmio mucho más cercanas a las de los meteoritos que a las de la corteza, y Luck y Turekian terminaban con una enérgica declaración en apoyo de la teoría del impacto en el límite K-T. De hecho, unas diferencias menores en las proporciones de isótopos de osmio entre las distintas muestras los llevó a sugerir que podría haber habido más de un impacto. Este

punto es discutible, pero creo que la mayoría de los geoquímicos apoya los datos del osmio como argumento a favor del impacto de un gran volumen.

Cuarzo deformado

Hace unos años, los mineralogistas averiguaron que ese mineral corriente que es el cuarzo reacciona de formas extrañas ante presiones desorbitadamente altas: a la estructura cristalina le pasan cosas raras, que yo no entiendo muy bien. Esto se demostró en el laboratorio y luego se descubrió en los puntos de impacto de meteoritos o de bombas nucleares. Al parecer, este tipo de efecto de choque se puede producir de forma natural en la superficie de la Tierra sólo bajo las presiones de la magnitud experimentada con un impacto a gran velocidad de un gran asteroide o cometa. Dos minerales distintos llamados stishovita y coesita, ambos formas del cuarzo, se asocian a menudo con la metamorfosis del choque.

Después de que estas relaciones quedaran establecidas hace unos años, la stishovita, la coesita y el cuarzo con muestras de estructura deformada se convirtieron en importantes criterios para verificar antiguos cráteres de meteoritos. Y a causa de esto, el número de cráteres autentificados aumentó espectacularmente. Según lo entiendo yo, los rasgos de estructura deformada son mucho más concluyentes que la mera presencia de stishovita o coesita, porque se sabe que estos minerales también se han formado con altas presiones en las profundidades de la Tierra y a veces salen a la superficie empujados por fuerzas tectónicas.

Como probablemente se imaginarán ustedes, se ha encontrado cuarzo deformado en las rocas que presentan

la anomalía de iridio. Bruce Bohor y sus colegas del U. S. Geological Survey (Centro de Estudios Geológicos de EE.UU.) de Denver declararon que habían encontrado cuarzo deformado en puntos del límite K-T tanto en Europa como en Norteamérica. Esto impresionó, porque el cuarzo es un indicador de impactos probado y fiel y porque el grupo de Bohor no tenía ninguna postura que defender ni un papel previo en la controversia sobre el impacto.

Pero la declaración sobre el cuarzo deformado no se llevó la palma de inmediato. Recuerdo una advertencia que circulaba como un rumor. Insinuaba que el cuarzo deformado podía haberse originado en el terreno donde se forman los diamantes: las venas de *kimberlita*. Como paleontólogo con escasos conocimientos de mineralogía, esto me parecía bastante creíble, aunque me preguntaba cómo podía haber kimberlitas que estallaran y diseminaran cuarzo deformado por todo el mundo. Pero con todo era una idea que merecía ser investigada. No tardé en sentirme avergonzado al averiguar lo que ya debería haber sabido: ¡no hay ni rastro de cuarzo en las kimberlitas!

La anécdota de los diamantes y las kimberlitas es típica de muchas de las discuciones más recientes. Como todos nosotros nos movemos parcial o totalmente fuera de nuestras esferas de conocimiento, somos unos blancos perfectos para los argumentos espúreos, ya sean a favor o en contra. Y los rumores como el de la kimberlita corren por la comunidad científica y están teniendo un efecto importante sobre el progreso de la ciencia. Mientras escribo esto, ha surgido otra explicación alternativa, esta vez basada en la presencia ocasional de cuarzo deformado en las rocas volcánicas expulsadas de las profundidades de la Tierra. Sin embargo, por lo que me dice Bruce Bohor, en estas rocas volcánicas el cuarzo no

muestra en absoluto el grado de deformación estructural que aparece en el cuarzo del límite K-T.

Pese a las discusiones, la prueba del cuarzo deformado es muy decisiva. Estoy convencido de que si no fuera por el carácter emocional del tema de la extinción en masa, la cuestión del impacto en el K-T habría quedado totalmente zanjada gracias al artículo de Bohor sobre el cuarzo deformado. Imaginemos por un momento que la extinción no tuviera nada que ver. Supongamos que todo el problema de la investigación fuera cuestión de si un gran meteorito chocó con la Tierra hace 65 millones de años o no. Me atrevo a decir que, en estas circunstancias, la interpretación del impacto habría sido aceptada por todos, tal vez sobre la base de las anomalías de iridio originales y ciertamente con el peso añadido del trabajo sobre el osmio y el cuarzo. Sabemos que la Tierra ha sido bombardeada por meteoritos grandes y pequeños, y el tamaño propuesto de diez kilómetros entra dentro de lo razonable. Ya teníamos un catálogo de unos 100 casos de impacto autentificados, muchos de ellos de mucha más edad que 65 millones de años. De este modo, el episodio de hace 65 millones de años se habría añadido al catálogo y pocas personas se habrían interesado en seguir investigando el caso.

En vista de ello, estoy convencido de que las reacciones negativas ante el aspecto de la extinción ha obligado a los defensores del impacto en el K-T a desarrollar un caso rayano en el contraataque. Tal vez así es como debería ser, porque la hipótesis del impacto como causa de extinción obliga en efecto a cambiar de manera importante la forma de pensar sobre la historia y la evolución de la vida. Tal vez las pruebas de los que defienden la idea tengan un peso especial.

En cualquier caso, el cuarzo deformado ha provocado un notable cambio en la opinión científica, que ahora

tiende a aceptar el impacto de un gran volumen en el límite K-T. Pero esto no quiere decir que se acepte su relación con la extinción.

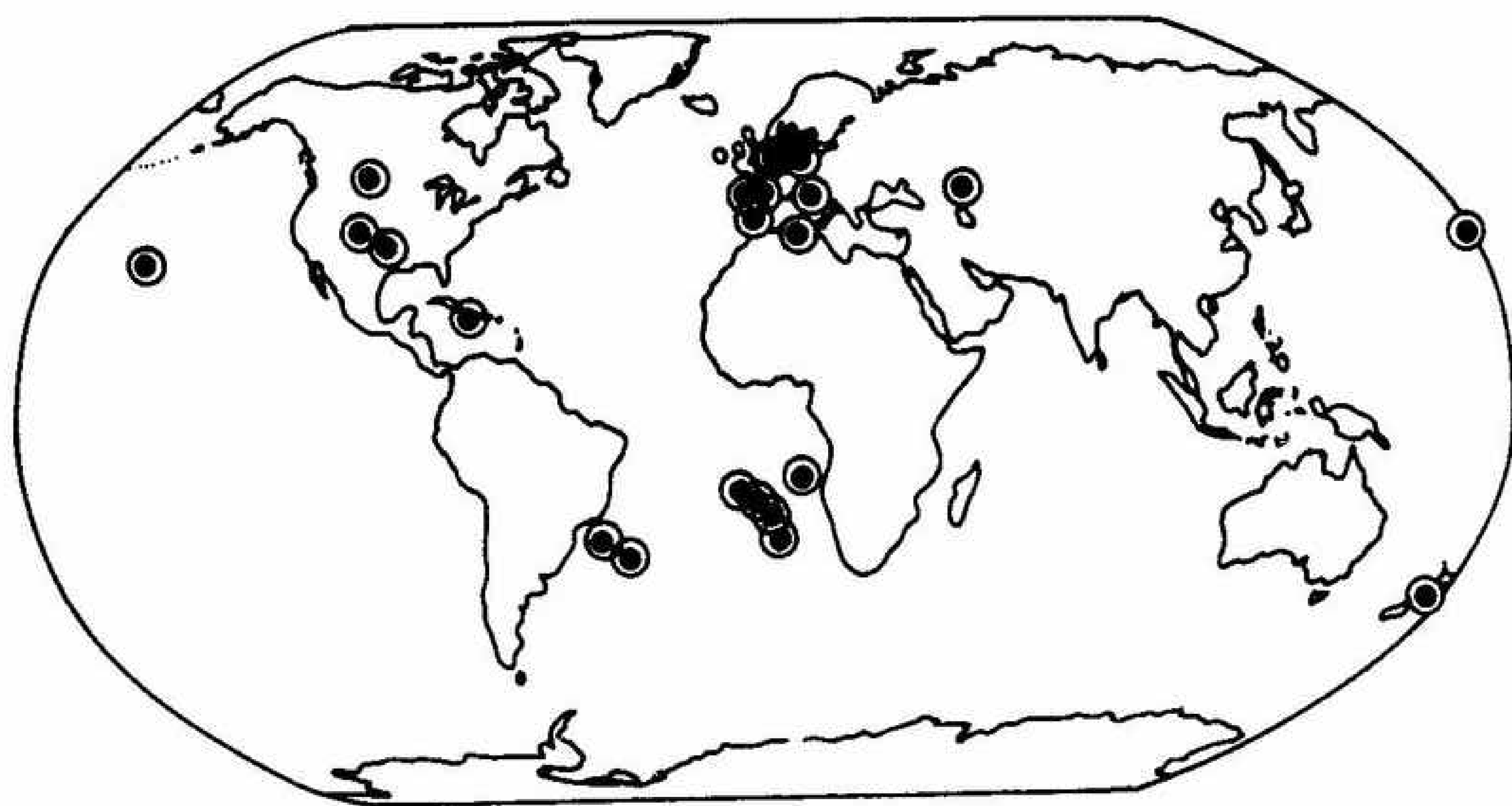
Microtectitas

Mencioné las tectitas en relación con el estudio de Harold Urey sobre los cometas y la extinción. Desde la época de su trabajo, se han descubierto unas partículas vidriosas más pequeñas, llamadas microtectitas, en algunas rocas sedimentarias, y se piensa que, junto con sus parientes más grandes, son residuos de impactos de meteoritos. Era lógico, por tanto, buscar microtectitas en Gubbio y en otros puntos cercanos al límite K-T. Varios geólogos han encontrado efectivamente diminutas esférulas que interpretan como microtectitas alteradas. La composición de las esférulas no encaja, pero algunos aspectos de la estructura sí. Se discute mucho todavía si las esférulas eran microtectitas originalmente y si después se alteraron hasta llegar a su actual composición.

Se han descubierto microtectitas irrefutables en otros niveles de la columna geológica, incluso en asociación con anomalías de iridio, pero en el caso del cretáceo sigue habiendo dudas. En lo que se refiere al episodio del límite K-T, las esférulas semejantes a microtectitas constituyen como mucho una prueba subsidiaria.

Más puntos con anomalías de iridio

Un frenesí de análisis químicos siguió al descubrimiento inicial de anomalías en Italia, Dinamarca y Nueva Zelanda. Hacia finales de 1983, se habían encontrado anomalías de iridio en más de cincuenta puntos del lí-



Puntos donde se descubrieron anomalías de iridio en el límite K-T a mediados de 1983. Se distribuyen por todo el mundo e incluyen toda la gama ambiental del cretáceo, desde sedimentos marinos hasta depósitos en pantanos continentales. Resulta llamativo que las pruebas de un episodio de corta duración hayan sobrevivido a la erosión en tantos lugares distintos. Los puntos que aparecen en zonas oceánicas se basan en muestras de antiguos sedimentos tomadas de núcleos de las profundidades marinas. Los análisis químicos proceden de laboratorios de Suiza, Holanda, la Unión Soviética y cuatro laboratorios de los Estados Unidos (Berkeley, UCLA, Los Alamos y la Baker Chemical Company). (Según W. Alvarez et al., *1984,* Science, 223: *1183-1186, fig.1.*)

mite K-T. En los informes se incluían los resultados de siete laboratorios independientes de los Estados Unidos, Holanda, Suiza y la Unión Soviética. En algunos casos, dos o más laboratorios analizaron muestras de los mismos puntos. Es más, se había encontrado la anomalía del K-T en todo el mundo y prácticamente en toda clase de terrenos sedimentarios, desde el fondo del mar hasta depósitos pantanosos en los continentes. Esto dejaba claro que los resultados iniciales no podían haber sido un mero golpe de suerte, aunque a muchos científicos todavía les preocupa el número de análisis relativamente bajo que se ha realizado para otras épocas que no sean las cercanías inmediatas del límite K-T.

Hollín y el gran incendio

La última prueba que ha aparecido sobre las condiciones del final del cretáceo es un trabajo de uno de mis colegas químicos de Chicago, Edward Anders, y dos ayudantes suyos, Wendy S. Wolbach (estudiante graduada) y Roy S. Lewis. Han identificado conjuntos esponjosos de carbono grafítico —o sea, hollín— en muestras de la arcilla del límite K-T recogidas en puntos de iridio en Dinamarca, España y Nueva Zelanda. El informe de su trabajo, con Wendy Wolbach como primera autora, apareció en *Science* en octubre de 1985.

Esto tiene grandes implicaciones. Evidentemente, el hollín se produjo a causa de grandes incendios, unos incencios que dejarían en ridículo a cualquiera que hayamos conocido en épocas históricas. El informe publicado sugiere que lo más probable es que el hollín procediera de incendios provocados por el propio impacto del meteorito en el K-T. Al parecer, aunque el impacto fuera oceánico, el calor sería suficiente como para provocar incendios a más de mil kilómetros de distancia. Luego, el humo, el hollín y otros residuos pudieron esparcirse por todo el mundo gracias a los vientos generados por los incendios. La cantidad total de hollín, extrapolada de las cantidades descubiertas en los tres puntos de excavación, se calcula equivalente a más del 10 por 100 de la biomasa actual del mundo. Y se piensa que los efectos de los incencios del cretáceo superan considerablemente a los que mantienen como consecuencia de una guerra termonuclear Paul Crutzen, Brian Toon, Carl Sagan y otros que trabajan en los planteamientos del invierno nuclear.

La cuestión del hollín difiere de una forma muy importante de las otras pruebas que se han aplicado al problema de la extinción. El iridio, los isótopos de osmio,

el cuarzo deformado y las microtectitas se emplearon como *pruebas de un impacto cósmico,* mientras que la idea del hollín *acepta el impacto* y utiliza la aceptación para inferir los efectos ambientales. Permítaseme explicarme. El contenido de carbono de la arcilla del límite K-T es alto, pero no espectacular. El nivel de acumulación de carbono se hace espectacular *sólo* si se acepta, como hace el grupo de Anders, que la capa de arcilla se depositó en unos pocos metros como lluvia de una nube global. El argumento del hollín representa, pues, una especie de teoría de segunda generación y es sólo tan válida como lo pueda ser la hipótesis del impacto de la que depende.

Es demasiado pronto para saber cómo influirá el informe del hollín en la manera de enfocar la extinción del K-T, pero si la investigación continúa, puede que estemos mucho más próximos a comprender lo que realmente pasó hace 65 millones de años.

Capítulo 6
La trama se complica

El planteamiento de la aniquilación

En el artículo original de 1980, el grupo de Alvarez indicaba que un impacto de un meteorito de diez kilómetros llenaría la atmósfera de polvo y otros residuos y que esto produciría la oscuridad en la superficie de la Tierra. Calculaban que gran parte del polvo permanecería en la estratosfera durante varios años. La fotosíntesis se vería dificultada o impedida totalmente, con efectos desastrosos sobre la fauna y flora globales. El fitoplacton próximo a la superficie de los océanos moriría, lo cual afectaría de diversas formas a los animales a lo largo de la cadena alimentaria. El artículo de 1980 no pretendía en absoluto ofrecer un estudio minucioso de los efectos ambientales (atmosféricos o de otro tipo) o de las consecuencias biológicas. Al fin y al cabo, el grupo de Berkeley no contaba con científicos expertos en la atmósfera, expertos en balística o biólogos. Simplemente presen-

taban un primer esbozo de hipótesis sobre las consecuencias ambientales y biológicas, basado en los datos que tenían a su disposición.

Desde 1980, otras personas han llevado a cabo una tremenda cantidad de estudios sobre el planteamiento de la aniquilación. Los geofísicos han evaluado los efectos físicos del supuesto impacto del K-T lo mejor que han podido. Esto no es un problema carente de importancia, dada la escala. El volumen impactante era mucho más grande que cualquier otro dentro de nuestra experiencia humana, afortunadamente. Parte del trabajo se ha realizado en el laboratorio, estudiando la formación de cráteres y otros efectos de pequeños proyectiles, y luego extrapolando matemáticamente hasta el tamaño mayor. Este es un método válido, pero puede ser arriesgado: un pequeño error en la observación de laboratorio o en la extrapolación puede provocar un gran error en el resultado. Algunos análisis han sido puramente teóricos, utilizando ecuaciones desarrolladas en su mayor parte en ingeniería para otros problemas.

Un resultado de este trabajo es una idea bastante buena sobre los efectos físicos inmediatos del impacto de un gran volumen. El cráter tendría entre 100 y 150 kilómetros de diámetro, dependiendo del lugar del impacto. La rocalla saldría lanzada hacia arriba a velocidades «balísticas»: los residuos podrían cubrir la Tierra entera superficialmente en un instante. Esto es importante porque significa que la nube de residuos no se limitaría a un solo hemisferio, como ocurre con muchas nubes volcánicas y de otros tipos. Además, todo el mundo está de acuerdo en que la nube sería lo bastante densa como para reducir los niveles de luz lo suficiente para acabar con la fotosíntesis.

En este punto entran a trabajar los científicos expertos en la atmósfera. ¿Cuánto tiempo duraría la nube de polvo? ¿Subirían o bajarían las temperaturas de la superficie? Estas preguntas y otras afines se están discutiendo aún. No todos los cálculos coinciden, pero el mejor trabajo que he visto llega a la conclusión de que los niveles de luz permanecerían reducidos durante tal vez sólo unos tres meses. Esto es menos de lo que originalmente indicó el grupo de Berkeley, pero aun así es un tiempo suficiente para tener importantes efectos directos sobre la fotosíntesis, así como los efectos climáticos más a la larga.

Curiosamente, no se llega a un acuerdo sobre los efectos de temperatura: algunas conclusiones apuntan a un enfriamiento global, posiblemente el inicio de una glaciación, mientras que otras apuntan a un calentamiento a causa de una compleja cadena de hechos que llevarían a un «efecto de invernadero». También existen otros factores que complican las cosas. El paso inicial del meteorito a través de la atmósfera superior podría tener unos extraños efectos sobre la química de la atmósfera, incluida la producción de grandes cantidades de óxidos de nitrógeno, lo cual podría tener unos efectos ambientales más devastadores que los otros que se están considerando.

Debería recalcar, con todas mis fuerzas, que los efectos físicos y químicos del impacto de un gran volumen están totalmente fuera de mis estudios o de los conocimientos que he ido adquiriendo. Apenas puedo hacer más que leer, escuchar y transmitir la esencia de lo que he absorbido. Al final, lo que queda es que la colisión con un volumen de diez kilómetros, o incluso con un volumen de un kilómetro, sería sumamente desagradable. Puede que en última instancia sea cosa del paleobiólogo emplear la pauta de las extinciones para descubrir más cosas sobre el auténtico mecanismo de la aniquilación del final del cretáceo, suponiendo, claro está, que el culpable fuera realmente un meteorito.

La alternativa volcánica

A lo largo de las discusiones posteriores a 1980, ha estado acechando una interpretación totalmente distinta: el *vulcanismo*. Unos cuantos geólogos y geoquímicos de primera categoría han estudiado las pruebas del grupo de Berkeley y las han encontrado deficientes. No les gusta el razonamiento básico del artículo de 1980 con relación a la conservación de residuos procedentes del impacto de un gran volumen, y no creen que la química de la arcilla del límite K-T indique un origen meteorítico.

Algûnos de los que participan en esta contraofensiva son Michael Rampino, del Godard Institute for Space Studies (Instituto Godard de Estudios Espaciales) de la NASA; Charles Officer, de Dartmouth, y Charles Drake, también de Dartmouth. Rampino ha representado un extraño papel en la historia de la extinción. En el congreso de Snowbird de 1981 presentó una ponencia iconoclasta, pero excelente, en la que sugería que la altas concentraciones de iridio eran de origen biológico. Mostró análisis químicos de nódulos de manganeso que se habían formado en el fondo del mar por precipitación provocada biológicamente, y estos módulos tenían altos niveles de iridio. Sin embargo, un par de años más tarde, Rampino formó parte de un grupo que descubrió niveles de iridio muy altos en los componentes gaseosos de la erupciones del volcán de Kilauea. Más adelante, Rampino se convirtió en uno de los defensores más enérgicos del impacto de meteorito. A algunos, estos cambios de postura no les parecen bien, pero yo aplaudo a cualquier científico que asimila los datos tal y como los ve en el momento.

Algunos consideran que el iridio descubierto en Kilauea supone un fuerte golpe para la hipótesis del impacto. Se sabe que algunos volcanes, especialmente en Hawai, arrastran lava del manto terrestre por debajo de la corteza. La cuestión es si el iridio del cretáceo se originó en el manto. Officer y Drake han sostenido enérgicamente en unos artículos que el conjunto de la química de las arcillas del cretáceo presenta una huella volcánica, en lugar de meteorítica. ¿Quién tiene razón? Officer y Drake son científicos de primera categoría y se les debe escuchar, pero también lo son muchos del otro bando. Para mí, la interpretación de tablas de análisis químicos es en gran parte sorprendentemente subjetiva. Por razones tal vez válidas que yo no llego a comprender, los geoquímicos nunca han desarrollado técnicas estadísticas avanzadas para decidir si dos series de análisis son iguales o distintas. Por ello, tenemos a algunas personas que dicen que las rocas con iridio del final del cretáceo son claramente como meteoritos, y a otras personas que dicen que son indudablemente volcánicas.

La interpretación volcánica general del episodio del K-T supone un período de vulcanismo devastador, como nunca lo hemos visto, es decir, si ha de causar la extinción de más de la mitad de las especies animales de la Tierra. Esto parece increíble, pero la especie humana lleva en el mundo muy poco tiempo y no tenemos una base real para decir que el nivel de actividad volcánica que hemos experimentado sea típico.

¿Existen otras pruebas de un vulcanismo inusual hace unos 65 millones de años? En realidad, sí. Una inmensa zona de la India está cubierta de gruesos basaltos llamados las Trampas del Decán. El vulcanismo del Decán duró varios millones de años, pero casi todos los cálculos sobre el momento en que empezó señalan 65 millones de años a. p. (antes del presente). Se conocen otras corrientes de basalto parecidas en otros continentes y de distintas edades, pero como nunca hemos presenciado realmente este tipo de erupción, se sabe muy poco acerca

de los efectos ambientales. No se sabe con certeza si estos efectos serían locales o mundiales, o si afectarían a las propiedades fundamentales del clima y de la química atmosférica.

Como paleontólogo, podría desentenderme del problema del vulcanismo como contraposición al impacto. Al fin y al cabo, ¿qué más da en qué tipo de condiciones estuviera el conjunto de la fauna y flora mientras fuera malo? Pero evidentemente la cuestión es más interesante y seria que eso, y mis colegas y yo hemos escuchado todos los argumentos con gran interés. Mi impresión en estos momentos es que las pruebas de un impacto de meteorito en el límite K-T son mucho más convincentes, pero las respuestas aún no se han terminado.

Una posible y maravillosa ironía de la discusión entre el vulcanismo y el impacto es que ambas partes podrían tener razón. Un problema de siempre que plantea la hipótesis del impacto es la localización del cráter. Los críticos han estado planteando este problema desde el principio y las respuestas se han dado como probabilidades. El cráter debería haber sido grande, tal vez de 150 kilómetros de diámetro. Si el meteorito hubiera caído en el océano, existiría una gran probabilidad de que a estas alturas el cráter hubiera desaparecido, porque el lecho marino está siendo consumido continuamente por lo que se llama *substracción* de los márgenes continentales. Si el impacto se hubiera producido en tierra, el cráter se habría visto sometido a 65 millones de años de erosión y es muy probable que no hubiera sobrevivido con una forma reconocible. Se está de acuerdo en que los aproximadamente 100 cráteres que tenemos son pocos en comparación con los que han sucumbido a la substracción y a la erosión.

Otra explicación, tal vez disparatada, de la falta de un cráter en el K-T es que el meteorito cayó en la India,

disparó el vulcanismo del Decán y consiguientemente quedó cubierto por completo por las corrientes de lava. Esta idea se lleva discutiendo informalmente desde hace dos o tres años y no sé si los geofísicos, en cuyo campo entra este asunto, se lo toman en serio. Tendrán que decirnos si un volumen de diez kilómetros al chocar con la Tierra (tal vez a la alta velocidad de un cometa con órbita en proceso de retrogradación) tendría fuerza para abrirse paso a través de la corteza continental, relativamente gruesa, para provocar un importante episodio volcánico.

Una desviación menor en la historia de la interpretación volcánica se produjo poco después del artículo de Alvarez de 1980. En una película de «Nova» titulada «The Death of the Dinosaurs» («La muerte de los dinosaurios») se sugería que el punto de impacto podría haber sido Islandia, produciendo así el vulcanismo que ha caracterizado a este país desde su nacimiento v que sacó a flote a la propia isla. El problema, que no tardaron en señalar muchos de los geólogos que vieron el programa, es que Islandia es muchos millones de años más joven que la época final del cretáceo. Fin de las buenas ideas.

¿Impacto en otras extinciones en masa?

No es sorprendente que muchas personas pusieran en marcha programas para analizar otras partes de la columna geológica en busca de iridio. Todo el mundo se daba cuenta de que la anomalía del límite K-T tendría auténtica importancia sólo si resultaba que las anomalías de iridio escaseaban en otros puntos del registro. Además, era natural preguntarse si otras extinciones en masa estarían asociadas a una causa extraterrestre.

Los análisis químicos en busca de iridio requieren tiem-

po y son costosos, y esto limita mucho el número de muestras que se pueden procesar. En consecuencia, la mayoría de los análisis procede de puntos de la columna geológica donde se sabe que se produjeron extinciones en masa. Este no es el mejor método científico, pero los científicos son humanos y deben llegar a algún compromiso.

Sólo una persona que yo sepa ha hecho una serie de análisis realmente sistemática abarcando un largo período de tiempo sin hacer caso de la presencia o ausencia de extinciones en masa. Se trata de Frank Kyte, estudiante graduado de UCLA. Ha extraído laboriosamente muestras de núcleos marinos que cubren un largo período de tiempo, desde justo por debajo del límite K-T hasta el presente. Su método es bastante burdo, de modo que puede haberse saltado algunos episodios menores, pero puede detectar una anomalía de la magnitud de la de Gubbio. Según tengo entendido, ha completado la secuencia y sólo ha encontrado la esperada anomalía del límite K-T y otra muy pequeña, posiblemente de extensión local, cerca de la Antártida.

Sin embargo, hay un foco de esperanza en el horizonte analítico. Un grupo del Lawrence Berkeley Laboratory (Laboratorio Lawrence de Berkeley), dirigido por Luis Alvarez, ha diseñado y está construyendo un instrumento totalmente nuevo para medir el contenido de iridio de las muestras de roca. Cuando funcione y esté totalmente automatizado, este instrumento podrá procesar 20.000 muestras al año, funcionando las veinticuatro horas del día.

Una serie de pequeños contenedores numerados, cada uno más o menos del tamaño de una pila de cámara, se llenará y sellará sobre el terreno, se enviará a Berkeley y se meterá en una tolva. La máquina cogerá los contenedores uno por uno, leerá el número, hará el análisis e imprimirá los resultados. Cuando hace unos meses vi el prototipo en construcción en Berkeley, uno de los problemas más delicados era tratar de idear un método infalible para conseguir que el instrumento lea los números de los pequeños contenedores. Supongo que este problema se habrá resuelto y que pronto tendremos los datos de conjunto sobre el iridio presente en el registro geológico que tanta falta nos hacen.

Entre tanto, en Berkeley y en varios otros laboratorios se están utilizando las instalaciones existentes para ampliar la base de datos. Hasta la fecha, se ha informado de la existencia de anomalías de iridio en otras cinco épocas de gran extinción. Todas presentan problemas y hará falta bastante más trabajo para verificar su importancia.

1. *Límites eoceno-oligoceno.* El eoceno y el oligoceno son dos de las unidades temporales principales del período terciario, y el límite que las separa se produjo unos 38 millones de años a.p. Se ha encontrado una auténtica anomalía, pero bastante pequeña, en una serie de puntos en todo el mundo. No fue recogida por el análisis de baja resolución realizado por Frank Kyte. Un aspecto especialmente interesante de este caso es que el iridio está asociado con abundantes microtectitas no alteradas. Si se aceptan las microtectitas como prueba segura del impacto de un gran volumen, como las acepta casi todo el mundo, nos encontramos, pues, con la agradable conformidad de dos tipos de prueba independientes.

La intensidad de la extinción en el límite eoceno-oligoceno depende un poco del ojo con que se mire. A algunos paleontólogos les parece un episodio de gran importancia, mientras que a otros la extinción les parece bastante trivial. El mejor registro de la extinción se encuentra en núcleos tomados de sedimentos marinos. En ellos, la asociación entre el iridio, las microtectitas y la

desaparición de una buena cantidad de especies de microfósiles resulta notable. Pero la desaparición de unos cuantos microfósiles no significa que se trate de una gran extinción, porque, como hemos visto, las especies no dejan de entrar y salir del registro geológico todo el tiempo.

A una escala más grande, 28 familias de animales marinos (como un 3 por 100) se extinguen en algún punto de lo que se conoce como eoceno superior, un intervalo de unos cuatro millones de años que precede al límite eoceno-oligoceno. Aunque este nivel de extinción no se puede comparar al de la última unidad del cretáceo (15 por 100 de familias), con todo, destaca bastante por encima de los niveles normales. La pregunta clave es dónde se sitúan las extinciones de las 28 familias dentro de los cuatro millones de años del eoceno superior. Hará falta un trabajo mucho más detallado antes de que esta pregunta tenga una respuesta satisfactoria.

Un detalle aún más curioso sobre este dato es que al parecer hay dos o más capas de microtectitas, aunque sólo una presenta una anomalía de iridio. Esto ha llevado a algunos observadores a decir que puede que las microtectitas no sean un buen indicador del impacto de un meteorito, pero para otros, las múltiples capas de microtectitas indican una lluvia de meteoritos a lo largo de un período de tiempo. Como veremos cuando nos metamos en el núcleo del Asunto Némesis, la posibilidad de lluvias de meteoritos es una propuesta seria.

2. *Jurásico.* Este caso es muy curioso. En el período jurásico, la unidad temporal que precede al cretáceo y que cubre el período de tiempo que hay entre 210 a 145 millones de años a.p., hubo una serie de extinciones menores, varias de las cuales se han empleado para señalar subdivisiones dentro del jurásico. Una de éstas se encuentra en el límite entre las etapas caloviana y oxfordiana, que también separa lo que se conoce como jurásico medio y jurásico superior.

En este límite, al parecer ocurrieron algunas cosas muy curiosas. En la mayor parte de los puntos localizados en Europa oriental y occidental, falta una sección bastante grande, con muestras de erosión y disolución química de las rocas más antiguas, las calovianas. La mayor parte del mejor trabajo sobre estos descubrimientos la ha realizado un geólogo polaco, Wojciech Brochwicz-Lewinski, del Instituto Geológico de la Universidad de Varsovia. Trabajando con una serie de colegas polacos, españoles y de otras nacionalidades, Brochwicz-Lewinski ha examinado los afloramientos para tratar de encontrar pruebas de lo que ocurrió al final de la etapa caloviana. Y ha descubierto cosas interesantes. Entre otras, desenterró unas pequeñas esférulas magnéticas que son de claro origen cósmico. Se han descubierto esférulas similares en Tunguska, el lugar de Siberia donde se estrelló un cometa en 1908.

Naturalmente, Brockwicz-Lewinski quería buscar iridio, pero no tiene las necesarias instalaciones de laboratorio en Varsovia. Recuerdo una anécdota divertida en relación con esto. En agosto de 1984, Brochwicz-Lewinski me envió tres muestras del jurásico polaco. Nos habíamos conocido algunos años antes en una cena celebrada en Varsovia y él tenía la esperanza de que yo le enviara las muestras a Frank Asaro en Berkeley para hacerlas analizar. Lo hice, pero no fueron analizadas inmediatamente. Frank tenía muchas muestras de épocas y lugares distintos y el material polaco tuvo que hacer cola.

Entonces, en mayo de 1985, Brochwicz-Lewinski vino un par de días a Chicago a hacernos una visita a Jack Sepkoski y a mí, y ardíamos en deseos de saber qué estaba descubriendo Frank en Berkeley. Llamé a Frank.

Dijo que podía analizar una de las muestras por la noche y tal vez obtener unos resultados preliminares al anochecer del día siguiente. Pero ¿cuál de las tres muestras era más probable que contuviera iridio? Wojciech eligió una y comenzó el análisis. Nos divertimos mucho al día siguiente esperando los resultados. Esta era la clase de método científico estereotipado y alabado que pocos de nosotros llegamos a ver realmente.

Casi en el último minuto antes de que Wojciech tuviera que marcharse de Chicago, recibimos la importantísima llamada de Berkeley. Justo antes, Wojciech había escrito en un papel la concentración de iridio que suponía que habría. Me gustó la valentía de mi colega polaco, pero no le di mucha importancia a la cifra que había escrito. Cuando obtuvimos los resultados, efectivamente había una anomalía de iridio y coincidía con la cifra del papel dentro de un margen de error experimental. Sólo entonces se explicó Wojciech. Intercosmos, la agencia espacial soviética, ya había analizado algunos trozos del mismo espécimen y Wojciech conocía la respuesta desde el principio. Pero lo que hizo era totalmente lógico. Quería una corroboración independiente y no quiso influirnos a ninguno con ideas preconcebidas. Un buen truco. Descubrí a raíz de esta experiencia que los científicos polacos tienen una ventaja con respecto a todos nosotros, porque pueden trabajar tan fácilmente con los soviéticos como con los occidentales.

Aún no está claro el auténtico significado de la anomalía del jurásico y de las esférulas cósmicas asociadas a ella. Dado que siempre hay una lluvia lenta pero continua de material cósmico sobre la Tierra, incluyendo polvo meteorítico con cantidades mínimas de iridio, el paso del jurásico se podría explicar como una acumulación a largo plazo de material extraterrestre a falta de otro tipo de sedimentación. Recuerden que el límite en cuestión se caracteriza en Europa por un notable intervalo de tiempo. Por ello, puede que no sea necesario un impacto de meteorito para explicar el material extraterrestre.

Brochwicz-Lewinski está convencido de que el intervalo temporal no explicará las anomalías, y yo tengo mucha confianza en él como geólogo experimentado. Además, piensa que la erosión y la disolución de las rocas, que han creado un vacío en el registro, se pueden deber a las extremas condiciones oceánicas producidas por el impacto de un gran volumen. Queda mucho por averiguar. Entre tanto, es interesante advertir que el iridio del jurásico se encuentra concentrado en bacterias fósiles.

3. *Límite pérmico-triásico.* La extinción en masa del final del pérmico, unos 250 millones de años a.p., fue la más grande de todas y como es natural ha sido objeto de mucha atención. El problema que presenta el pérmico es que resulta que hay poquísimos puntos al descubierto buenos y continuos del límite entre el pérmico y el triásico, que está encima. Y las mejores secciones están en lugares muy inaccesibles: Irán, el nordeste de Groenlandia, el norte de Pakistán cerca de la frontera de Afganistán y en China. Recordarán ustedes por el Capítulo 2 que Otto Schindewolf trabajó en el pérmico de Pakistán. El problema de esa sección es que existe una notable interrupción en el sedimento preservado, por lo que varios millones de años no han quedado registrados.

Las secciones del límite pérmico-triásico más completas, con diferencia, están en China. Fueron inaccesibles, incluso para los geólogos chinos, durante los difíciles años de la Revolución Cultural, pero ahora ya se está trabajando en ellas y los chinos arden en deseos de unirse a la fiesta y la emoción de la búsqueda de iridio.

De hecho, un grupo de físicos, geólogos y paleontólogos chinos ha notificado la existencia de una anomalía

de iridio justo en el punto esperado de la secuencia. El grupo, dirigido por el doctor Sun Yi-Yin, de la Academia China, describió la anomalía en un congreso internacional de geología celebrado en Moscú en el verano de 1984, y lo publicó al mismo tiempo (en inglés). Hasta ahora, varios intentos de reproducir estos resultados en otros laboratorios han fracasado. Casi todos estamos esperando con cautela, pero impaciencia, que se recojan nuevas muestras y se hagan más análisis en busca de iridio.

¿Por qué cuesta tanto encontrar buenas secciones del límite pérmico-triásico? Puede que sólo sea mala suerte dentro de un registro histórico que presenta muchos huecos accidentales. Pero puede que se trate de algo más. Durante los últimos millones de años del pérmico, el nivel del mar iba descendiendo de forma irregular, pero persistente. Grandes zonas oceánicas quedaron aisladas y dejaron depósitos de sal al retirarse los mares.

Una consecuencia del menguado nivel del mar es que los continentes que actualmente están al descubierto tienen muy pocas rocas marinas de finales del pérmico y principios del triásico. Mucha gente ha llegado a sugerir que el propio descenso del nivel del mar fue responsable de las extinciones del pérmico y señalan otras épocas de extinción que parecen estar asociadas al descenso del nivel del mar. De hecho, ésta es una de las alternativas principales a las explicaciones extraterrestres de la extinción en masa y hace que sea doblemente importante realizar más análisis de iridio en el límite P-T de China.

4. *Finales del devónico.* Según recordarán ésta es la extinción en masa que prefiere Digby McLaren y la que explicó —sin prueba alguna— en 1970 como un fenómeno de impacto. En octubre de 1984, un grupo en el que se contaban Carl Orth (Los Alamos National Laboratory) [Laboratorio Nacional de Los Alamos] y McLaren comunicó en *Science* la existencia de una anomalía de iridio en el límite entre las etapas frasniana y fammeniana de finales del devónico, o cerca de este límite, unos 365 millones de años a.p. Y ésta, por supuesto, es la extinción en masa de la que hablaba McLaren. Las muestras procedían de la Cuenca de Canning, al noroeste de Australia.

Los instrumentos analíticos de Los Alamos son tan precisos que Orth trabaja con partes por trillón en lugar de partes por billón, como ocurre en casi todos los demás laboratorios. El grupo de Orth llevaba trabajando dos o tres años con muestras del devónico de Europa y Norteamérica sin encontrar ninguna concentración anormal de iridio. Pero los análisis de las muestras australianas dieron unas 300 partes por trillón, unas veinte veces el nivel normal de las rocas australianas de encima y de debajo.

Pero aquí también han surgido preguntas y problemas. ¿Por qué no se había encontrado la anomalía en Europa y Norteamérica? Lo que es más importante, el iridio australiano está presente sólo en cierta clase de bacteria fósil, llamada *Frutexites*. Esto da pie a la desagradable posibilidad de que las bacterias estuvieran concentrando las pequeñas cantidades de iridio presentes en su medio normal. Ya hemos visto que los mecanismos biológicos concentradores son una alternativa posible al impacto de meteorito.

El hecho de que el iridio de Australia sólo se encuentre en bacterias fósiles también se podría interpretar en el sentido de que las bacterias contienen mucho iridio simplemente porque había mucho a su alrededor, como en el caso de los altos niveles de DDT en los pájaros y otros animales expuestos a un exceso del mismo. ¿Concentraron las bacterias el iridio «a propósito» o simplemente porque estaba allí? Quizás las dos cosas.

El caso del devónico, ensombrecido como está por

problemas biológicos, todavía se está discutiendo. Para algunas personas, es la prueba definitiva de la relación entre el impacto y la extinción. Para otras, se puede explicar más fácilmente sin echar mano de métodos extraordinarios. Yo no sé qué bando tiene razón. El resultado del caso del devónico será importante también para el caso del jurásico, porque el jurásico de Brockwicz-Lewinski presenta el mismo tipo de preservación de iridio en bacterias.

5. *Límite precámbrico-cámbrico.* Esta es la más débil de todas las anomalías de iridio, pero podría llegar a ser la más importante. Al retroceder en el tiempo, el rico registro de fósiles de organismos complejos se detiene bruscamente unos 570 millones de años a.p., en la base del cámbrico. La transición entre los fósiles bastante sencillos de finales del precámbrico y la vida avanzada del cámbrico ha sido un enigma desde hace mucho tiempo. Puede que haya habido o no un súbito cambio ambiental y puede que haya habido o no una extinción. Pero sin duda fue un momento crítico en la historia de la vida en la Tierra.

Un brillante geoquímico de Zurich, Ken Hsü, ha reunido numerosas pruebas de cambios en la composición de las aguas marinas en épocas de extinción en masa. ha descubierto que una serie de relaciones importantes, en las que entran sobre todo el oxígeno y el carbono, se alteran totalmente en estas épocas de crisis. Las llama perturbaciones «Strangelove» que producen un Océano Strangelove que dura varios miles de años. Y piensa que el impacto de un meteorito es una causa enormemente verosímil de estas perturbaciones en la química del océano.

Es más, Hsü cree que tiene pruebas de estas condiciones Strangelove cerca del límite precámbrico-cámbrico en el sur de China. Un grupo chino compuesto por los

señores Fang, Yang y Huang publicó un artículo en 1984 notificando la existencia de una anomalía de iridio en el límite. Pero las correlaciones temporales son muy inciertas al retroceder tanto en la historia geológica y está por ver cómo se sostienen la anomalía y el Océano Strangelove de Ken Hsü.

Como indiqué antes, los cinco casos de posibles relaciones entre impacto y extinción que no sean la del límite K-T presentan problemas. Pero son problemas interesantes que probablemente nos acerquen más a las respuestas definitivas sobre las causas de la extinción, y esto será así tanto si los cinco casos resultan ser ejemplos demostrados del impacto de un gran volumen como si no.

Dos sondeos de opinión

Los problemas científicos no deberían solucionarse por votación popular, pero las opiniones de distintos grupos tienen una enorme influencia en el curso de la investigación científica. En el verano de 1984, dos paleontólogos hicieron un estudio cuasi científico entre unos 500 geólogos, paleontólogos y geofísicos de Europa y Norteamérica. Los encuestadores eran Matthew Nitecki, del Field Museum (Museo Field) de Chicago, y Antoni Hoffman, del Lamont Geological Observatory (Observatorio Geológico Lamont) de Columbia.

Los resultados fueron interesantes y algo divertidos:

El 21 por 100 estaba convencido de que la extinción en masa del cretáceo-terciario era producto de un impacto de meteorito (el 50 por 100, en un muestreo secundario de geofísicos americanos);

el 40 por 100 creía que hubo un impacto en el K-T, pero que no causó las extinciones;

el 27 por 100 no creía que hubiera un impacto en el límite K-T; y

¡el 12 por 100 no creía que hubiera una extinción en masa ni un impacto al final del cretáceo!

Las dos primeras cifras sumaban un impresionante 61 por 100 que aceptaba las pruebas básicas del impacto de un gran volumen al final del cretáceo. Esta es una cifra alta si se tienen en cuenta la resistencia natural a una interpretación fuera de los esquemas lyellianos y la novedad de la idea. Por otra parte, ese 61 por 100 es sorprendentemente bajo si se piensa en el enorme surtido de pruebas independientes del impacto que ya se habían reunido hacia el verano de 1984.

En octubre de 1985, la Society of Vertebrate Paleontology (Sociedad de Paleontología de Vertebrados) celebró su congreso anual en Rapid City, Dakota del Sur, y 118 de los 300 participantes tomaron parte en un sondeo de opinión sobre las causas de las extinciones de los dinosaurios. Fue un sondeo significativo porque se realizó después de todas las pruebas adicionales de un impacto de meteorito que he descrito aquí y porque tomaron parte en él paleontólogos especializados en vertebrados que habían participado de forma fundamental en el debate sobre la extinción.

Los resultados de este segundo sondeo fueron analizados cuidadosamente en un artículo del *New York Times* del 29 de octubre escrito por Malcolm W. Browne. Las preguntas estaban redactadas de forma algo distinta a la encuesta de 1984, pero así y todo se pueden comparar los resultados. Con respecto a la pregunta sobre un impacto al final del cretáceo:

el 90 por 100 aceptaba las pruebas del impacto y

el 10 por 100 negaba el impacto.

Con respecto a la pregunta sobre la extinción:

el 4 por 100 aceptaba el impacto como la causa principal de las extinciones de los dinosaurios;

el 43 por 100 aceptaba el impacto, pero no creía que fuera la causa de la extinción de los dinosaurios; y

el 27 por 100 pensaba que no había ninguna extinción en masa de animales terrestres que explicar.

Al comparar los dos sondeos, me parece notable que entre los paleontólogos especializados en vertebrados, probablemente el grupo más conservador en todo el asunto de la relación entre impacto y extinción, el 90 por 100 haya aceptado las pruebas de un impacto de meteorito. Esto supone un aumento impresionante con respecto al 61 por 100 de 1984 y debe de reflejar el incremento de pruebas geofísicas y geoquímicas. Por otra parte, el número de paleontólogos especializados en vertebrados que apoya una relación entre impacto y extinción supone la mínima cantidad de un 4 por 100. El argumento principal que se escuchó en el congreso de Rapid City fue uno que ya hemos escuchado antes: los dinosaurios llevaban mucho tiempo en decadencia antes de que cayera el meteorito.

Además, hacia el otoño de 1985, se percibía una furia creciente por parte de los contrarios al planteamiento del meteorito. Por ejemplo, el artículo del *Times* sobre el congreso de Rapid City incluye la siguiente cita de Robert T. Bakker, un experto en dinosaurios del University of Colorado Museum (Museo de la Universidad de Colorado) y uno de los principales creadores de la apasionada teoría sobre los dinosaurios:

Bakker

La arrogancia de esas personas es sencillamente increíble. Apenas saben nada sobre cómo evolucionan, viven y se extinguen los animales reales. Pero a pesar de su ignorancia, los geoquí-

micos piensan que lo único que hay que hacer es poner en marcha una máquina fantástica y ya se ha revolucionado la ciencia. Las auténticas razones de las extinciones de los dinosaurios tienen que ver con cambios de temperatura y del nivel del mar, la propagación de enfermedades por la emigración y otros complejos acontecimientos. Pero los catastrofistas no parecen creer que tales cosas importen. De hecho, esto es lo que dicen: «Los técnicos tenemos todas las respuestas y los paleontólogos no sois más que rastreadores de rocas primitivas.»

Esta declaración me resulta más que detestable y me alegro de decir que la acusación de arrogancia es falsa. Los últimos años de investigación sobre la extinción me han puesto en contacto con muchos de los «técnicos» de Bakker. He visto cómo todos sin excepción se muestran humildes sobre su desconocimiento de la paleontología y auténticamente deseosos de aprender de cualquier «rastreador de rocas primitivas» que esté dispuesto a dedicarles un poco de tiempo.

Respuesta a Bakker.

Capítulo 7

La extinción periódica entra en escena

La teoría de Némesis sobre la estrella compañera no existiría sin la idea de que los episodios de extinción se producen con una periodicidad fija, cada 26 millones de años. Por ello es importante revisar con cierto detalle los orígenes de la idea de la extinción periódica y las pruebas que la apoyan.

Los ciclos de Fischer

En 1977, Alfred G. Fischer y Michael A. Arthur publicaron un artículo con el título de «Secular Variations in the Pelagic Realm» («Variaciones seculares en el entorno pelágico»). Resultó ser un trabajo profético, aunque no lo supimos en ese momento. Todo lo contrario. Muchos de nosotros (la mayoría, en realidad) tratamos de pasarlo por alto por todos los medios. Fischer y Arthur afirmaban que las extinciones principales de los úl-

timos 250 millones de años estaban espaciadas de forma regular, produciéndose cada 32 millones de años. ¡Qué anatema!

Todos sabíamos que la historia de la Tierra era demasiado complicada para merecer una descripción tan simplista. ¿Qué haría que el sistema estuviera en hora? Las comunidades biológicas que operan a escalas de unos pocos meses o años no podrían cumplir los plazos, de modo que ¿cómo podría el sistema global, mucho más complejo, conservar un ritmo durante cientos de millones de años? Aunque durante años se habían estado barajando modelos sencillos de la dinámica de comunidades locales, e incluso conjuntos enteros de flora y fauna —algunos de ellos muy atractivos en situaciones especiales—, en general no funcionaban cuando se los comparaba con los crudos datos históricos. La propuesta de Fischer y Arthur era ir demasiado lejos.

He aquí lo que decía y hacía el artículo. Fischer y Arthur habían unido las historias geológicas de una serie bastante heterogénea de atributos, unos del registro de fósiles y otros de las rocas. Se incluían las series de especies (o grupos mayores) de diversas clases de organismos marinos, información sobre estructuras de comunidades (como la presencia o ausencia de grandes depredadores en diversas épocas), datos sobre la temperatura del agua de mar, proporciones de isótopos de carbono y varios indicadores del nivel del mar. No se trataba de una tarea imparcial de recopilación de datos y análisis estadístico. Eligieron los tipos de dato que les parecieron más sensibles a los cambios ambientales que les interesaban y no hicieron ningún intento especial de justificar sus elecciones.

Luego los trazaron como gráficas de cambio a lo largo del tiempo para el período de 250 millones de años, desde el final del pérmico hasta el presente, y pasaron a

interpretar todas las curvas y los puntitos. Les pareció ver ciclos con la misma secuencia de cambios repetida cada 32 millones de años. He visto ciclos mejores en los índices Dow Jones.

Para mí, el artículo de Fischer y Arthur no era un paso adelante. Habíamos estado luchando por meter la investigación paleontológica en el siglo XX presentando hipótesis comprobables y una ciencia acertada y rigurosa. Una hipótesis comprobable no tenía que ser matemática, aunque era preferible. Sobre todo, queríamos librarnos de la costumbre kiplingnesca de escribir historias inverosímiles basadas en una información heterogénea y pura intuición. Y cuando se sacaban conclusiones sobre la base de datos cuantitativos, queríamos análisis serios de trascendencia estadística. En las gráficas de Fischer y Arthur, la única indicación que yo vi de ciclos o periodicidad se podía explicar por el método subjetivo con que fueron elegidos los datos.

He admirado a Al Fischer durante muchos años y no lo atacaría de esta forma si no fuera porque ahora pienso que su artículo de 1977 es un magnífico trabajo científico, aunque no sea del tipo que a mí más me gusta realizar.

En 1977, Al Fischer era profesor de paleontología en Princeton y Mike Arthur era estudiante graduado suyo. Desde entonces, Al se ha trasladado a la Universidad de Southern California y Mike ha terminado sus estudios y ha entrado en la Universidad de Rhode Island. Al Fischer ha hecho muchas cosas durante su vida y las ha hecho bien. Ha trabajado como geólogo en expediciones en busca de petróleo por gran parte de Sudamérica. Cuando era un joven profesor auxiliar en la Universidad de Kansas, colaboró en la autoría de lo que se convirtió en el libro de texto básico sobre paleontología de invertebrados durante décadas. Ha desarrollado un agotador y

brillante trabajo de campo sobre geología en los Alpes de su Austria natal y es una autoridad mundial en la taxonomía de un raro grupo de equinodermos fósiles. Sin embargo, su principal característica es que nunca se sabe muy bien qué va a hacer o con qué va a saltar a continuación. Y su trabajo sobre los ciclos es típico.

Fischer y Arthur no afirmaban que unas fuerzas extraterrestres gobernaban los ciclos de 32 millones de años, aunque consideraban la posibilidad de alguna fluctuación desconocida en la luminosidad del Sol. Más bien pensaban que la fuerza impulsora definitiva se encontraba dentro de la Tierra, relacionada con ciclos desconocidos de convección en el interior de la Tierra.

Es comprensible que Fischer y Arthur no fueran muy precisos en cuanto a los mecanismos. No existe ningún teorema científico que diga que la descripción de un fenómeno (los ciclos, en este caso) deba ir acompañada de un mecanismo que explique cómo funciona dicho fenómeno, aunque siempre se prefiere un mecanismo viable. La ausencia de mecanismo se emplea a menudo como arma contra las conclusiones de un trabajo que no nos gustan. Por ejemplo, la idea de la deriva continental fue rechazada durante muchos años sobre la base, en parte, de que nadie había aportado un mecanismo. Más tarde, en los años 60, se aceptó la idea de la deriva de los continentes porque nuevos datos sobre el campo magnético de la Tierra hicieron que resultara convincente, aunque aún no había ningún mecanismo aceptable.

Los talleres de la NASA

Como ya dije hacia el final del Capítulo 1, la NASA formó una serie de talleres a partir de julio de 1981. El propósito era investigar el posible patrocinio por parte

de la NASA de los estudios sobre Evolution of Complex and Higher Organisms (ECHO) [Evolución de Organismos Complejos y Superiores]. La Life Sciencies Division (Sección de Ciencias Biológicas) de la NASA lleva tiempo apoyando el estudio del origen y primera evolución de la vida, así como el estudio sobre la evolución de la inteligencia. Estos y otros programas están relacionados con la demanda general de una mejor comprensión de la vida en el universo, con miras a la Search for Extraterrestrial Intelligence (SETI) [Búsqueda de Inteligencia Extraterrestre].

La NASA es una agencia sin inhibiciones dispuesta a probar cosas nuevas, y los talleres de ECHO no eran ninguna excepción. En los talleres, un estupendo puñado de personas de disciplinas poco acostumbradas a la comunicación se reunió para atacar con entusiasmo la historia de la vida avanzada. En el grupo había uno o más genetistas, botánicos, zoólogos, geoquímicos, geofísicos, astrofísicos, expertos en atmósfera, oceanógrafos y, por supuesto, paleontólogos y geólogos. Un par de filósofos habría endulzado el caldo. Varias de las personas que habrían de cobrar importancia en el Asunto Némesis estaban en el grupo, incluyendo a Al Fischer, Bill Clemens y Jack Sepkoski.

El primer taller se formó mientras aún se estaba asimilando la hipótesis de Alvarez sobre la extinción en masa. Todos teníamos muy presentes los meteoritos. Pero queríamos hacer un trabajo amplio y, aunque hablamos de impactos de meteoritos y sus posibles efectos sobre la biología global, también trabajamos con tantos otros aspectos del Sistema Solar y la Galaxia como pudieran resultar relevantes. Las supernovas, los cambios en la luminosidad del Sol a través del tiempo, los cambios en el sistema de la Tierra y la Luna y los posibles efectos de nuestro paso a través de las ondas de densidad

Ciclos de Milankovich

galácticas: todo ello era potencialmente importante para la vida sobre la Tierra.

Trabajamos con fenómenos periódicos impulsados por fuerzas extraterrestres, pero a escalas temporales de miles de años en lugar de millones. Se había demostrado hacía poco que los ciclos Milankovich, cambios regulares en las órbitas del sistema Tierra-Luna-Sol, pueden afectar, y de hecho así lo hacen, al clima de la Tierra en un complejo de ciclos de 22.000, 41.000 y 100.000 años. ¡Aquello resultaba emocionante!

Una recomendación para el estudio que salió de los talleres fue el ruego de que se estudiaran ciclos más largos, pero no se hizo mucho hincapié en ello. Al Fischer habló sobre su periodicidad de 32 millones de años además de sobre un trabajo más reciente que estaba haciendo sobre ciclos más cortos, del tipo Milankovich, detectados en rocas más antiguas. Todos conocíamos lo de los 32 millones de años, pero creo que nos daba un poco de vergüenza ajena. Al Fischer era un buen científico, pero los grandes ciclos no resultaban convincentes.

Cuando la serie de talleres se terminó en la primavera de 1983, fue el momento de organizar un informe para asesorar al cuartel general de la NASA y a cualquiera que lo quisiera escuchar sobre una política de investigaciones. El informe, desde que se publicó, contenía muchos aspectos e ideas prometedoras, pero, en relación con nuestro tema, es mucho más interesante la ausencia de los ciclos de 32 millones de años de Al Fischer. Todos trabajamos en la edición y la revisión del manuscrito del informe durante muchos meses. Se añadían y se quitaban partes en una sucesión de incontables borradores. Aunque yo no tengo las primeras versiones, recuerdo claramente que entre ellas estaban los ciclos de Al junto con una reproducción de su gráfica original de curvas. Pero los ciclos de 32 millones de años quedaron totalmente

excluidos en el proceso de edición. Se habla de gran parte del trabajo de Fischer, por supuesto, pero no de esos grandes ciclos. Un interesante ejemplo de revisión a cargo de colegas profesionales en acción. Como presidente del grupo, confieso que tuve mucho que ver con ello.

El Compendium *de Sepkoski*

J. John Sepkoski, Jr., es un paleontólogo de Chicago que fue preparado por Stephen Jay Gould en Harvard. Jack es al tiempo genial y trabajador, y es en esta segunda cualidad donde se basa en última instancia el caso de Némesis. Durante años, Sepkoski ha tenido una especie de pasatiempo consistente en compilar datos sobre el registro de la vida fósil. El campo donde se mueve es la biblioteca y sus miles de informes y estudios monográficos que recogen fósiles desde mediados del siglo XVIII. El lugar de trabajo de Jack ha sido una frustración para los equipos de televisión y los periodistas que han estado siguiendo la historia de Némesis y han querido fotografiar a Jack en la ladera de una montaña partiendo piedras. El no hace estas cosas, por lo menos no las hace para su proyecto de compilación. Para otras cosas, trabaja al aire libre sobre rocas cámbricas, pero este tipo de estudio manual sería demasiado lento (y superfluo) para una compilación global de datos.

A partir de los libros básicos sobre paleontología, Jack ha obtenido dos clases de información: la primera es la taxonomía de los fósiles más exacta o más probable y la segunda es la duración de la existencia sobre la Tierra que tuvo cada grupo de organismos. La duración en el tiempo implicaba dos tipos de datos: la edad de la primera aparición y la edad de la última aparición. Esta clase de compilación ya se ha hecho antes, a menudo a

cargo de equipos de especialistas, y Jack utilizó las obras anteriores como punto de partida. Ha conseguido avanzar mucho más en el proceso y el resultado es un catálogo excepcionalmente completo y libre de «interferencias».

Una fase del proyecto se publicó en 1982 con el título de *A Compendium of Fossil Marine Families (Compendio de familias marinas fósiles)*. Es un libro relativamente voluminoso y aburridísimo de nombres de familias, la primera y la última vez que aparecen y los libros donde cada una de ellas aparece mencionada. Se incluyen unos 3.500 grupos diferentes: unos extintos, otros vivos aún, otros antiguos, otros geológicamente jóvenes. Jack no afirma en modo alguno que el *Compendium* sea perfectamente correcto o completo. No es más que una etapa en el desarrollo de una base de datos. De hecho, desde 1982, se han descubierto muchas referencias nuevas, los usuarios han advertido errores y ha crecido en tamaño como un 10 por 100. Jack publica cada año listas de correcciones y actualizaciones, por lo que el *Compendium* se ha convertido en una base de estudios creciente para muchas personas.

El *Compendium* se pasó a computadora, con nombres latinos y todo, a principios de 1983, y ahora viaja por el país en forma de «floppies». Desde 1984, Jack también ha estado trabajando en la parte paralela de los géneros. Ya lleva unas 30.000 entradas y sigue adelante.

Tecleando números

¿Qué puede hacer un paleontólogo con una compilación como el *Compendium* de Sepkoski? No demasiado, en el caso de muchos expertos. Estos son los paleontólogos investigadores que se concentran en un solo grupo

SEPKOSKI FOSSIL MARINE FAMILIES

Or Paleoisopoda			
Palaeoisopididae	D (Sieg)		(23,132,208)
Or Pantopoda			
**Palaeothea*	D (Sieg)		(23)
Trilobitomorpha			
Cl. Trilobita			
(Classification primarily from the *Treatise* Pt. 0, except for the Agnostida which is from Opik (1963). Stratigraphic ranges are from numerous sources, as indicated.)			
?Or Agnostida (= Miomera)			
Agnostidae	€ (Boto)	— Θ (Ashg)	(132,208)
Clavagnostidae	€ (uMid)	— € (Dres)	(132,148,193)
Condiopygidae	€ (Boto)	— € (uMid)	(110,132,208)
Diplagnostidae	€ (mMid)	— Θ (Trem)	(132,148,193)
Discagnostidae	€ (Dres)		(226)
Eodiscidae	€ (Atda)	— € (uMid)	(110,132,193)
Pagetiidae	€ (Atda)	— € (mMid)	(132,148,287)
Phalacromidae	€ (uMid)	— € (Dres)	(171,172)
Sphaeragnostidae	Θ (Ashg)		(226)
Trinodidae	€ (Dres)	— Θ (Ashg)	(226)
Or Redlichiida			
Abadiellidae	€ (Atda)	— € (lMid)	(132,141,395)
Bathynotidae	€ (Boto)	— € (lMid)	(148,193,208)
Chengkouidae	€ (Boto)		(393)
Daguinaspididae	€ (Atda)		(132,141)
Despujolsiidae	€ (Atda)		(141)
Dolerolenidae	€ (Atda)	— € (Boto)	(141,195,261)
?Ellipsocephalidae	€ (Atda)	— € (mMid)	(110,141,261)
Emuellidae	€ (lMid)		(173,245)
Gigantopygidae	€ (Boto)		(141,173)
Hicksiidae	€ (Boto)		(141)
Kueichowiidae	€ (Boto)		(173,393)
Longduiidae	€ (Boto)		(393)
Mayiellidae	€ (Boto)		(42,173)
Neoredlichiidae	€ (Atda)	— € (Boto)	(141,173,262)
Olenellidae	€ (Atda)	— € (mMid)	(110,132,262)
Paradoxididae	€ (Atda)	— € (uMid)	(110,173,262)
Protolenidae	€ (Tom)	— € (mMid)	(92,141,173,262)
Redlichiidae	€ (Atda)	— € (mMid)	(132,141,173,262)
Saukiandidae	€ (Boto)		(141,262)
Yinitidae	€ (Atda)	— € (Boto)	(195,393)
Yunnanocephalidae	€ (Atda)		(170,195)

*May be related to unlisted extant families

Una página del *Compendium (Compendio)* de Sepkoski. El *Compendium* entero, con unas 3.500 gamas de fósiles, es la base del análisis computerizado del registro de fósiles que llevó a la teoría de Némesis. Cada una de las palabras acabadas en «ae» es el nombre latino de una familia de animales marinos. Las columnas segunda y tercera ofrecen edades geológicas codificadas de la aparición más antigua y la más reciente, respectivamente, de las especies de la familia. Si no hay ninguna entrada en la columna de extinciones, la familia se originó y se extinguió en el mismo intervalo de tiempo. Los números entre paréntesis de la derecha indican las fuentes bibliográficas. Desde su publicación original en 1982, el *Compendium* ha sido puesto al día y corregido varias veces, de forma que muchas de las entradas originales, incluidas varias de esta página, se han aumentado o precisado más. © Milwanukee Public Museum, reproducido con permiso.)

de organismos fósiles, un período de tiempo o una zona geográfica. Para estas labores, el *Compendium* resulta demasiado tosco y general: el especialista tiene a su disposición datos mucho mejores. Pero para el generalista, el *Compendium* es un recurso valiosísimo. ¿Qué comparación se puede establecer entre la evolución de la diversidad de peces y la de los reptiles acuáticos? ¿Cómo cambia con el tiempo el ritmo de creación de familias en todos los animales marinos? Y cosas así.

La ciencia avanza gracias a una buena mezcla de especialistas y generalistas. Ningún grupo puede funcionar bien sin el otro, aunque a veces podría no parecerlo cuando los dos tipos de paleontólogo se enzarzan en discusiones. Por suerte para la paleontología actual, la mezcla es buena. Tenemos Leakeys y tenemos Goulds.

Para mí, como generalista, el *Compendium* fue como un juguete nuevo. Y un juguete que funcionaba mucho mejor que las primitivas bases de datos con las que había estado trabajando. En cuestión de segundos, por ejemplo, con la computadora en la mesa y un buen editor de textos, puedo obtener los nombres y afiliaciones de todas las familias marinas que se extinguieron en cualquier período de tiempo.

Durante el invierno y la primavera de 1983, Jack y yo nos pusimos a analizar de firme los datos del *Compendium*. Cada uno tenía objetivos distintos: Jack está más interesado en el medio y yo me inclino más por los problemas evolutivos. Creamos programas para explorar diversas facetas del registro. Algunos eran simples programas de contabilidad con el propósito principal de sumar, tabular y prorratear. Otros hacían análisis estadísticos más sofisticados. En algunos casos comprobábamos hipótesis al estilo tradicional (y estereotipado) de la investigación científica, y en otros, simplemente buscábamos pautas interesantes. Aunque los dos conocíamos los ciclos de Al Fischer, no creo que se nos ocurriera jamás emplear la nueva base de datos para comprobarlos.

La periodicidad de 26 millones de años

A finales de la primavera de 1983, Jack y yo estábamos trabajando con una producción totalmente gráfica en busca de pautas evidentes en el ritmo de la extinción a través del tiempo. ¿La extinción era continua o episódica? ¿Había una clara diferencia entre las extinciones en masa y el flujo normal de extinción básica entre los grandes episodios? ¿Las extinciones grandes eran realmente distintas de la normal? En esta etapa contemplábamos los resultados de la computadora sobre todo como una serie de imágenes, en busca de una forma única que nos pudiera llevar en direcciones interesantes.

En algunos resultados podíamos ver con bastante claridad los episodios de extinción mayores y menores, en gran parte gracias a un efecto de realce de imagen que tenía el programa. Las extinciones parecían estar separadas a intervalos regulares en el tiempo, o al menos a intervalos mucho más regulares que si se hubieran producido al azar. ¿Podría ser éste el gran ciclo de 32 millones de años defendido por Al Fischer? Creíamos que no. Pero la idea persistía. Incluso observamos los gráficos desde el otro extremo de la habitación para que la forma pudiera verse con más claridad, lo cual no constituye precisamente un riguroso método científico.

En cualquier caso, la pauta se parecía lo suficiente a la de Fischer como para merecer una investigación más cuidadosa empleando los métodos formales del análisis estadístico. No entraré con mucho detalle en el análisis, pero quiero decir algunas cosas para dar una idea.

Los programas de contabilidad que aplicamos a los

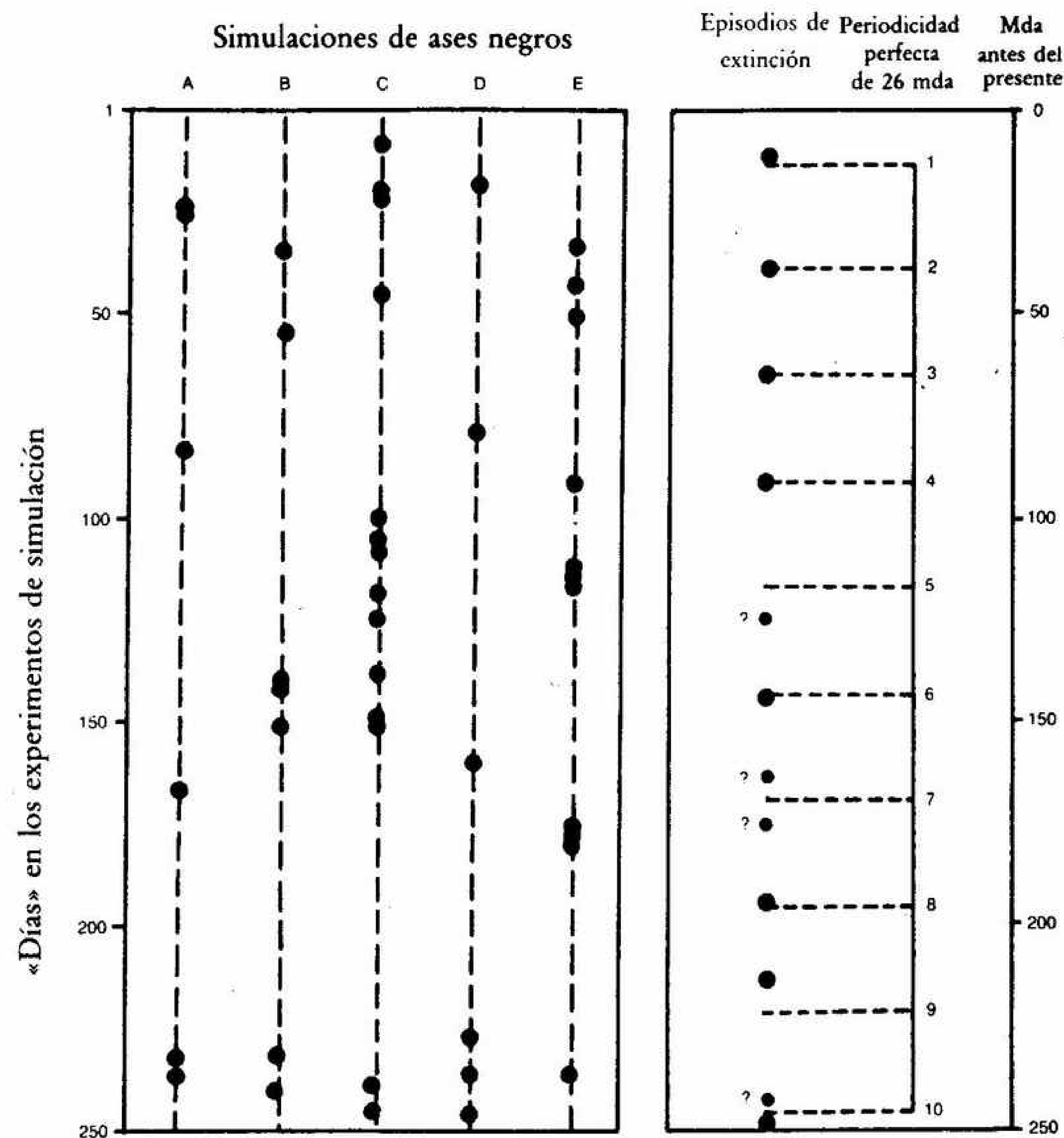
datos del *Compendium* mostraban dónde se concentraban las extinciones en el tiempo. Cada episodio importante de extinción desde el pérmico en adelante podía situarse de este modo en una línea temporal. La extinción en masa del final del cretáceo era un punto; el final del pérmico, otro, etcétera. En el análisis inicial identificamos doce episodios de extinción. La pregunta era si el espaciamiento entre estos doce episodios era puro azar o señalaba una pauta.

Los puntos situados al azar en una línea nos introducen en unos cuantos problemas interesantes, que tienen su analogía en muchos aspectos de la experiencia humana. Con frecuencia, las respuestas son contraintuitivas. Supongamos, como experimento hipotético, que sacáramos una carta de una baraja corriente cada mañana durante 250 días. Si la carta es un as de tréboles o de picas, es decir, un as negro, señalamos ese día en un calendario con una X. Al final de los 250 días habrá una serie de X, pero ¿qué espaciamiento habrá entre ellas?

Como término medio, las X deberían aparecer cada veintiséis días, porque las posibilidades de sacar un as negro son de 2/52 en cualquier día. Sin embargo, esta cifra puede variar considerablemente por el azar.

Ahora bien, veamos qué aspecto tienen realmente estas distribuciones experimentales. Aquí se ponen las cosas interesantes. Como ilustración, he realizado el experimento cinco veces, empleando un programa de computadora con un generador de números aleatorios para evitar una espera de 1.250 días. Los resultados se muestran debajo.

Los «días» van de 1 arriba a 250 abajo, y los cinco «intentos» del programa de computadora se muestran en las columnas señaladas con las letras de A a E. Adviertan la irregularidad del espaciamiento. En la columna E, por ejemplo, se sacaron once ases negros, muy apiñados: tres



Resultados del experimento de los ases negros descrito en el texto. Empleando una escala temporal de 1 a 250 días (izquierda del diagrama), las cinco columnas indicadas con las letras A-E muestran los días en que se «sacó» un as negro de un paquete de cartas barajado (para cinco simulaciones distintas de computadora). El espaciamiento medio entre ases negros (los puntos pequeños) debería ser de 26 días, porque las posibilidades de sacar un as negro en cualquier día concreto son de 1 sobre 26. Pero, como se ve, los resultados típicos del experimento muestran extracciones muy agrupadas. Esta pauta se puede comparar con los episodios de extinción, espaciados de una manera más uniforme, de los últimos 250 millones de años de historia terrestre (derecha del diagrama). Esta uniformidad del espaciamiento fue lo que llevó a la propuesta de la extinción periódica.

aparecen entre los días 111 y 118 y tres entre el 176 y el 180. Estos grupos están equilibrados por largos vacíos donde no se sacó ningún as negro. Los resultados son totalmente típicos de los puntos colocados al azar sobre una línea. En lugar de una «espera» de unos veintiséis días entre ases negros, vemos que la mayoría de los huecos son más pequeños. Unos pocos huecos largos están equilibrados por muchos cortos para producir el promedio de veintiséis.

Lo que acabo de describir ocurre también en la vida real. Los acontecimientos raros, tales como los huracanes y las inundaciones, por lo general muestran una distribución en el tiempo aleatoria. Esto no quiere decir que los huracanes y las inundaciones sean fortuitos en el sentido de que no tienen una causa: significa simplemente que las causas son tantas y tan complejas que se comportan sin orden ni concierto cuando se les considera como grupo.

Con frecuencia oímos hablar de inundaciones cada 100 años en Nueva Orleáns o que los huracanes azotan St. Thomas sobre un promedio de cada veinticinco años. Por el experimento de los ases negros, sabemos que la inundación de cada 100 años *no* ocurre como un mecanismo de relojería cada 100 años. Aunque el espaciamiento por término medio en un largo período de tiempo pueda ser ése, la experiencia real que uno tiene sobre el terreno es que hay grupos de inundaciones «de 100 años» muy pegadas y largos períodos de calma de más de 100 años. Lo mismo ocurre con los huracanes. Pese a la sabiduría convencional, los habitantes de St. Thomas no están a salvo hoy día simplemente porque tuvieron un huracán hace pocos años.

Volviendo a lo nuestro, a Jack y a mí nos pareció ver una pauta no aleatoria en la distribución de los episodios de extinción. Es decir, los episodios parecían estar situados en el tiempo de una forma más regular de lo que sería de esperar en una pauta aleatoria como la que he mostrado con el experimento de los ases negros. En la ilustración de los resultados del experimento de los ases negros he indicado la localización de los doce episodios de extinción que habíamos identificado a partir del *Compendium*. La escala de 250 unidades es apropiada porque estábamos trabajando con unos 250 millones de años de tiempo geológico. También he indicado un grupo perfectamente espaciado de intervalos de 26 millones de años ajustados a la posición «más apropiada» para las extinciones. Esto predice la localización en el tiempo de diez episodios de extinción si ésta se produce con perfecta regularidad cada 26 millones de años.

Los cuatro puntos pequeños con signos de interrogación eran episodios débiles en el análisis original, y más adelante demostramos que tenían una importancia estadística dudosa. Si se observan solamente los ocho puntos sin signos de interrogación, creo que se estará de acuerdo en que coinciden con gran exactitud con la predicción de los 26 millones de años. Dos de los episodios predichos, los que llevan los números 5 y 7, han desaparecido, a menos que se acepte uno o más de los episodios con signos de interrogación y puede que uno de los episodios predichos, el número 10, sea doble.

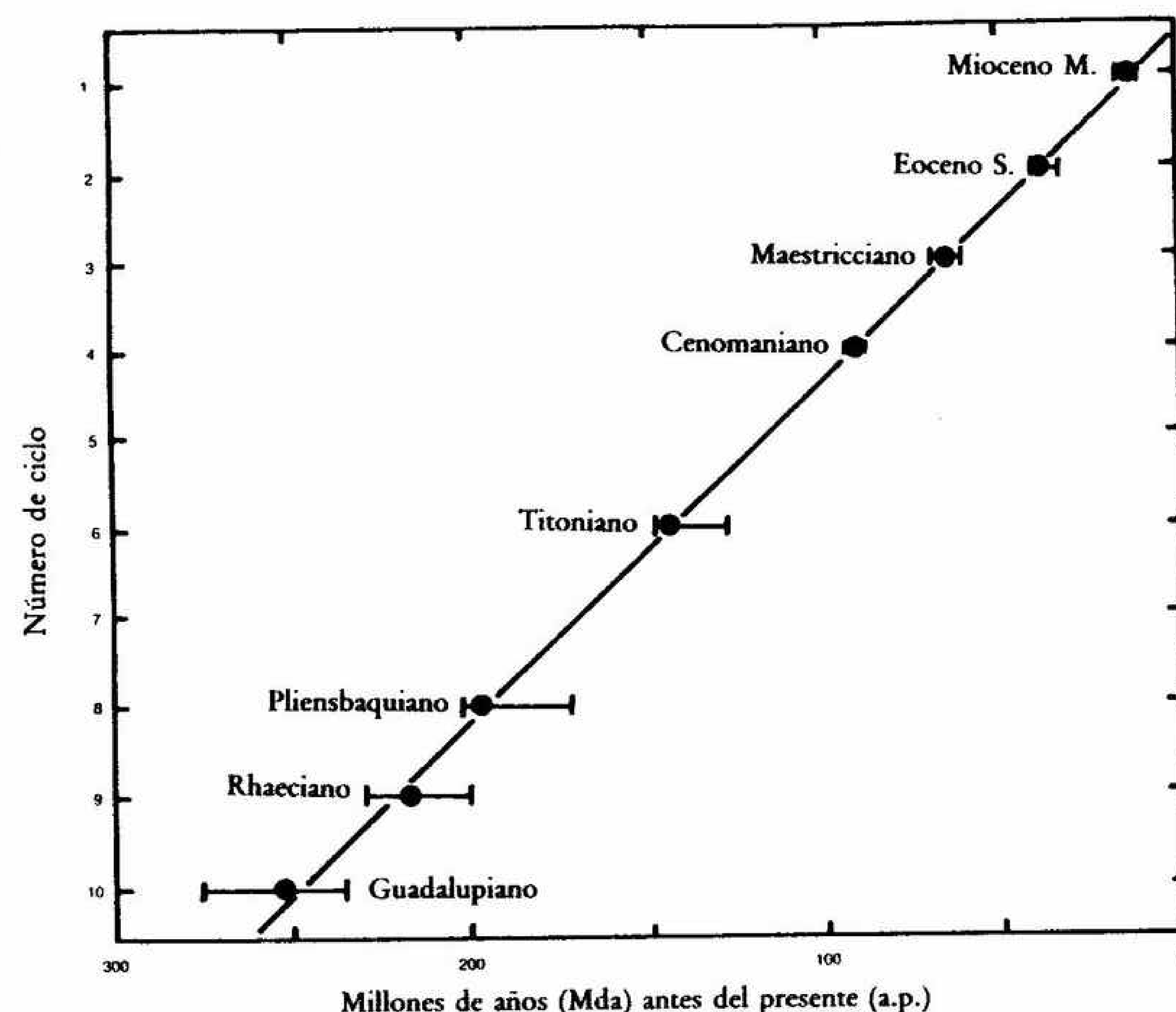
A un nivel exclusivamente cualitativo y subjetivo, lo que acabo de mostrar es el meollo del argumento sobre la extinción periódica: mayor regularidad de la que sería de esperar al azar. Pero esto no deja solucionado el problema en absoluto. La cifra de 26 millones de años para el intervalo no tiene justificación previa. Simplemente es la cifra que encaja mejor con las observaciones. Es más, la escala de episodios «predichos» se ha modificado hasta que las diferencias entre lo observado y lo predicho son lo más pequeñas posible. Con métodos de este tipo, siem-

pre es posible hacer que el cuadro tenga mejor aspecto del que tiene en realidad. El camino de la buena investigación está pavimentado de pautas imaginarias. Había que hacer comprobaciones mucho más elaboradas.

Debería advertir de paso el aparente conflicto entre los ciclos de 32 millones de años de Fischer y nuestra cifra de 26 millones de años. En realidad hay muy poca diferencia, porque las fechas geológicas de las rocas de las eras mesozoica y cenozoica han cambiado considerablemente con respecto a la escala temporal que usaba Fischer. Cuando se comparan nuestros datos con los de Fischer, resulta que casi todos los episodios de extinción son los mismos. De modo que, si Fischer hubiera trabajado con escalas temporales modernas, habría señalado 26 millones de años o algo muy próximo a ello.

Jack y yo nos pasamos la mayor parte de la primavera y el verano de 1983 analizando y volviendo a analizar nuestros datos. Fue una época crispante. Nos sentíamos estimulados, pero escépticos. Queríamos evitar el autoengaño. Casi todo el tiempo lo pasamos intentando eliminar la periodicidad, es decir, tratando de demostrar que no era más que un accidente o un engendro de nuestros propios métodos. Lo típico era que uno de nosotros llegara al laboratorio todos los días con una nueva idea genial. Tal vez las unidades de la escala temporal geológica eran periódicas y no las extinciones adscritas a ellas. O quizá como estábamos comprobando todos los períodos de 12 a 60 millones de años era inevitable que apareciera uno con importancia estadística. Siempre existía la posibilidad de que el trabajo de varios meses se fuera al garete.

La tarea más importante era poder rechazar la idea de que la *apariencia* de espaciamiento regular no era más que pura suerte dentro de un sistema fundamentalmente aleatorio. ¿Qué posibilidades hay de que ocho o doce



Episodios periódicos de extinción de los últimos 250 millones de años. Los puntos muestran las posiciones en el tiempo más probables de las ocho extinciones significativas estadísticamente. Las líneas horizontales muestran la «peor» incertidumbre en las fechas de los episodios de extinción. A cada uno de los episodios se le ha asignado un «número de ciclo» según la hipótesis de que la separación entre episodios es exactamente de 26 millones de años. La línea recta define una correlación perfecta con la periodicidad de 26 millones de años. Para que esta periodicidad funcione, se debe postular que dos episodios, con los números 5 y 7, no aparecen en el registro: o no ocurrieron o no se han descubierto. Los cuatro episodios más recientes (derecha, arriba) son los que están mejor fechados y encajan con la hipótesis de la periodicidad casi a la perfección. El episodio del K-T famoso por los dinosaurios es el tercero por el final, llamado maestricciano por la última subunidad principal del período cretáceo.

puntos situados al azar formen por accidente algo parecido a una pauta periódica de 26 millones de años o cualquier otra cifra establecida? Para poder publicarlos, los resultados tenían que rechazar esta hipótesis del azar con una posibilidad de por lo menos el 95 por 100 de estar en lo cierto, el porcentaje mínimo convencional.

Alguien que no esté metido en el mundo de la ciencia se puede preguntar por qué los criterios para las comprobaciones estadísticas son tan duros. ¿Por qué se insiste en que el resultado de una investigación sea seguro en un 95 por 100? ¿Acaso no sería «probablemente correcto» cualquier resultado por encima del 50 por 100 y, por tanto, digno de ser comunicado a otros científicos? En realidad, estos criterios aparentemente duros tienen una buena razón de ser. Supongamos que publicáramos todos los resultados que tuvieran una certidumbre por encima del 50 por 100. Esto podría estar bien para el resultado individual, pero al hacerlo continuamente querría decir que muchas de nuestras conclusiones publicadas —como cerca de la mitad— serían totalmente erróneas. Incluso con el criterio del 95 por 100, probablemente una de cada veinte conclusiones es errónea. Si una sola conclusión se basa en una cadena de varias deducciones, cada una de ellas con una certidumbre del 95 por 100, probablemente la conclusión final será errónea si la cadena es muy larga. Por esta razón muchos campos de la ciencia insisten en tener una certidumbre de por lo menos el 99 por 100.

En términos generales nuestro nivel de certidumbre estadística en el análisis de la extinción era mucho más alto, por encima del 99,9 por 100, pero seguimos trabajando en el problema. Empleamos todas las técnicas matemáticas habidas y por haber que pudimos encontrar o inventar.

El congreso de Berlín

Como la pauta periódica no desaparecía, por fin llegó el momento de discutirla con los colegas. Además de esto hubo seminarios sobre la investigación y se inició un manuscrito. En mayo de 1983 asistí a un congreso Dahlem en Berlín. Los congresos Dahlem son una experiencia maravillosa. Para cada congreso se invita a unas cincuenta personas de todo el mundo a pasar una semana en Berlín occidental para hablar de un solo tema o de unos pocos relacionados entre sí, por lo general con una gran mezcla de disciplinas. Todos los gastos están pagados por la ciudad en Berlín occidental, la Deutsche Forschungsgemeinschaft (fundación científica germano occidental) y la Stifterverband für die Deutsche Wissenschaft (una fundación privada de Berlín). Una característica poco corriente es que no hay ponencias formales, sólo debate en un ambiente de inmersión total.

El congreso Dahlem de mayo de 1983 tenía como título la idea de «Earth History: How Smooth, How Spasmodic?» («Historia de la Tierra; ¿hasta qué punto tranquila, hasta qué punto espasmódica?»), y el grupo de personas que asistió era ideal para mis propósitos. Quería otras ideas y ayudas. Si Jack y yo estábamos equivocados, este grupo podía ponernos en el buen camino. Por otro lado, no me atrevía a hablar demasiado de la investigación: era muy nueva y estaba muy verde, y posiblemente era un penoso error. No me preocupaba revelar secretos y que alguien se aprovechara adelantándose, pero no era probable que nadie más estuviera trabajando en la misma línea, y la base de datos de Jack en su forma computerizada no estaba disponible para el uso generalizado por aquel entonces. Además, casi todos hemos aprendido que lo que se gana al compartir información

y obtener nuevas ideas sobrepasa con creces la posible pérdida de prioridad.

Al Fischer no estuvo en Dahlem. Lo habían invitado y pensaba ir, pero tuvo que cancelarlo en el último momento por enfermedad. Fue una pena, porque Jack y yo ardíamos en deseos de ver cómo reaccionaba. Pero había otras personas muy adecuadas, entre las que se incluían Ken Hsü, de Zurich; Walter Alvarez, de Berkeley; Eugene Shoemaker, del U.S. Geological Survey (Centro de Estudios Geológicos de EE.UU.); Jan Smit, de Amsterdam; Digby McLaren, de Ottawa, y Brian Toon, de la NASA.

Tal como fueron las cosas, no hubo en Dahlem grandes discusiones sobre la extinción periódica. En parte fue porque yo quise mantenerlo en segundo plano, pero sobre todo porque todos estábamos interesadísimos en la hipótesis del impacto del grupo de Alvarez y la creciente controversia que había en torno a ella. Sin embargo, sí que pasé mucho tiempo hablando con Gene Shoemaker. Shoemaker tiene unos conocimientos pasmosos sobre asteroides y meteoritos. Muchos de ustedes lo han visto sentado en el borde del Meteor Crater hablando de impactos en más de un documental de televisión. Además, Gene se ha ocupado más que nadie de la localización y registro de asteroides actuales en órbitas que en potencia podrían pasar por la Tierra. Conoce bien los ciento y pico cráteres de impacto autentificados que hay en la Tierra.

Sobre todo, Gene y yo nos centramos en la interesante posibilidad de que los propios impactos de meteorito pudieran ser periódicos. Si un impacto pudo provocar una extinción en masa, el episodio del límite K-T, tal vez otras fueron provocadas por impactos, ¡tal vez todas! Como es lógico, Gene no se sentía atraído por la idea, porque todo su trabajo sobre cráteres se ha basado



Algunos participantes en el Congreso de Dahlem celebrado en Berlín en mayo de 1983. Entre ellos están varias personas que iban a destacar en el Asunto Némesis. De pie (por la izquierda) están: WALTER ALVAREZ, de Berkeley; Dieter Fütterer, del Instituto Wegener de Bremerhaven; Andreas Wetzel, de la Universidad de Tubinga (Alemania occidental); BRIAN TOON, de la NASA, que realizó algunos de los primeros modelos de los efectos de un gran impacto de meteorito y que más adelante los aplicó al planteamiento del invierno nuclear; Kevin Padian, de Berkeley; EUGENE SHOEMAKER, del U.S. Geological Survey (Centro de Estudios Geológicos de EE.UU.) de Flagstaff, que sabe más que casi nadie de asteroides y cráteres de meteoritos, y DIGBY McLAREN, de la Universidad de Ottawa, que, en 1970, propuso un impacto de meteorito como causa de la extinción en masa. Sentados (por la izquierda) están: el autor, JAN SMIT, de Amsterdam, que iba a realizar algunos de los análisis más críticos (y discutidos) del límite K-T; Tove Birkelund, de Copenhague; KEN HSÜ, de Zurich, que iba a realizar muchos estudios innovadores sobre la extinción en masa, incluido el desarrollo de la idea del «Océano Strangelove», y Jere Lipps, de la Universidad de California en Davis. (Foto: Elke Petra Thonke, Berlín.)

en que los impactos son fortuitos, pero tiene una mente muy flexible y se sintió intrigado. Repasamos la lista de cráteres (publicada en el libro que había resultado del congreso de Snowbird) para ver si las edades coincidían con los episodios de extinción señalados por Jack y por mí. Dado que muchos de los cráteres tienen una fecha muy dudosa, tuvimos que tamizar la lista para entresacar una corta relación de cráteres bien fechados. Gene pudo hacerlo a ojo, de lo familiarizado que estaba con los datos básicos.

Gene y yo no descubrimos gran cosa. Es decir, las edades de los cráteres no parecían periódicas y no coincidían con las edades de las extinciones en modo convincente alguno. Pero en Dahlem no teníamos computadora. Había mucha diferencia entre hacer dibujitos y un análisis serio. Cuatro o cinco meses más tarde, cuando Gene y yo coincidimos en Chicago, sometimos la lista reducida de cráteres a unos sencillos análisis Fourier para ver si había periodicidad. El análisis Fourier es un método corriente y rápido para buscar estadísticamente regularidades en series temporales. No encontramos nada en absoluto.

Imaginen nuestra sorpresa, entonces, cuando poco después, más avanzado el otoño, Walter Alvarez y Rich Muller, de Berkeley, anunciaron que habían descubierto una periodicidad de 28 millones de años usando prácticamente la misma lista de cráteres. Tengo la firme sospecha de que Gene y yo no vimos nada porque en realidad no esperábamos descubrir nada. Puede que fuéramos víctimas de lo contrario que afirma el viejo dicho: «No lo habría visto si no hubiera sabido que estaba ahí.» O tal vez Alvarez y Muller se vieron atrapados por sus propias expectativas.

A los pocos periodistas que hubo en Dahlem se les había pedido que no dieran mucha publicidad a las cosas. No obstante, salieron algunas crónicas del congreso. Yo intenté con todas mis fuerzas alejar los resultados de mi periodicidad de esas crónicas y casi lo conseguí. Un artículo de Richard Fifield para la revista británica *New Scientist* mencionaba la investigación e incluso me mostraba en un dibujo presentando los datos, pero la mención se limitaba a un párrafo bastante poco concreto.

La ponencia de Sepkoski en Flagstaff

Algunos meses después del congreso de Berlín, Jack Sepkoski tenía que hablar en el simposio sobre «Dynamics of Extinction» («Dinámica de la extinción») celebrado en Flagstaff, Arizona; un congreso organizado principalmente por científicos universitarios de Arizona e impulsado por el interés sobre la extinción en masa que se había formado a partir del artículo de Alvarez de 1980.

Nuestra confianza en la extinción periódica había ido creciendo durante el verano porque los resultados habían resistido aún más comprobaciones estadísticas. Era el momento adecuado de hacerlo público, aunque sólo en un sentido limitado, porque el congreso de Flagstaff iba dirigido únicamente a las comunidades geológica y paleontológica. Era muy probable que sólo hubiera unos pocos periodistas científicos para escuchar el tema.

Jack presentó los resultados de nuestros ejercicios numéricos y terminó diciendo que la periodicidad de 26 millones de años en las extinciones de los últimos 250 millones de años era real. También se explayó sobre la idea de que el espaciamiento regular de las extinciones se podía explicar más fácilmente acudiendo a procesos extraterrestres que a procesos terrestres. No había nada especialmente profundo en esta elección: expresaba simplemente que los ciclos regulares a largas escalas tempo-

rales son más corrientes en el Sistema Solar y en la Galaxia que dentro o en la superficie de la Tierra. En el medio espacial, muchos cuerpos giran en torno a otros cuerpos a ritmos muy regulares. La Galaxia rota sobre su eje completamente cada pocos cientos de millones de años, nuestro sistema solar oscila subiendo y bajando por la Galaxia en decenas de millones de años, etcétera.

No teníamos ninguna fuerza extraterrestre específica que proponer. A fin de cuentas, ninguno de los dos poseía un conocimiento adecuado de astronomía y astrofísica. En cierto modo, estábamos haciendo lo que habían hecho Otto Schindewolf y Digby McLaren. Al no poder explicar nuestras observaciones por medios normales, proponíamos una interpretación anormal dentro de otra disciplina. Pero ahí nos teníamos que deteneer, con la esperanza, claro está, de que los astrónomos y los astrofísicos respondieran al reto. Y ya lo creo que respondieron.

El manuscrito de PNAS

Al haber hecho públicos nuestros análisis estadísticos, el siguiente paso lógico era escribir un manuscrito para la publicación. De modo que Jack y yo redactamos un informe muy breve, incluvendo la propuesta, bastante floja, de la causa extraterrestre, y lo enviamos a la National Academy of Sciences (Academia Nacional de Ciencias) para publicarlo en sus *Proceedings (Actas)*. El artículo se envió en octubre de 1983 y se publicó en el mes de febrero siguiente. Dado que las *Proceedings of the National Academy of Sciences (PNAS) [Actas de la Academia Nacional de Ciencias]* marcan unos estrictos límites de páginas, nuestro informe consistía sólo en cinco páginas impresas. Estaba enormemente comprimido y dedicado sobre todo a detalles muy técnicos de nuestros métodos estadísticos. Este artículo se ha citado y discutido muchas veces, pero sospecho que pocas personas lo han leído realmente. Esto es normal en un ambiente donde cada semana se publican cientos de artículos.

¿Por qué escogimos *PNAS*? *PNAS* ofrece varias cosas: publicación rápida, amplia circulación tanto aquí como en el extranjero y la ausencia de revisión a cargo de colegas profesionales en el caso de artículos firmados por miembros. Queríamos una publicación rápida, aunque no había ninguna razón acuciante para tener prisa. Que nosotros supiéramos, nadie estaba trabajando en el mismo problema, de modo que no era probable que se nos adelantaran, aún suponiendo que hubiera algo lo bastante importante como para ser adelantados. Por otra parte, bastantes personas estaban ya al tanto del trabajo y entraba dentro de lo posible que alguien desempolvara viejas investigaciones para desarrollar el mismo razonamiento. No estoy hablando de malicia. Robar las ideas de otros es rarísimo dentro de la ciencia. Pero a todos nos cuesta mucho separar nuestras propias ideas de las que hemos recogido escuchando a otras personas. Por esta razón, hay una tendencia a que surjan los mismos proyectos de investigación en varios sitios al mismo tiempo. Además, Jack y yo pensábamos que teníamos algo muy interesante y estábamos impacientes por llevarlo a la imprenta. Al fin y al cabo, la investigación no existe, en cierto sentido al menos, hasta que se publica.

La ausencia de revisión a cargo de colegas profesionales en *PNAS* también influyó. Casi todas las publicaciones científicas de importancia envían todos los manuscritos que reciben a dos o más personas dentro de ese campo. Se acepta o se rechaza un artículo basándose sobre todo en esas reseñas. El hecho de que haya dos o tres revisores para cada manuscrito no es más que una

cuestión práctica, porque si no casi todos los científicos dedicarían más tiempo a reseñar los manuscritos de otras personas que a desarrollar una investigación propia. El que haya tan pocos revisores para cada manuscrito hace que todo el asunto quede en gran medida en manos del azar. A menudo se aceptan artículos malos porque sólo han pasado por revisores poco exigentes o mal informados y se pueden rechazar artículos buenos porque uno o dos revisores se mostraron hipercríticos, desagradables o mal informados con respecto al trabajo. A pesar de estos problemas, en general se acepta el sistema de la revisión a cargo de colegas profesionales porque se considera importante. Contribuye a mantener la calidad de una publicación y ofrece una evaluación bastante justa y objetiva de las personas y su trabajo. Cuando un investigador científico está próximo a un ascenso o es objeto de consideración para ocupar un nuevo puesto, una de las primeras preguntas que se hacen siempre es: ¿cuántos artículos tiene en publicaciones reseñadas por colegas profesionales?

No es sorprendente que las publicaciones que no tienen revisión a cargo de colegas profesionales sean miradas con cierta desconfianza y consideradas como una especie de literatura gris. Los artículos que salen en tales publicaciones tienen menos peso y hasta es posible oír a la gente criticar un estudio sólo porque no apareció en una publicación reseñada por colegas profesionales.

La National Academy publica *PNAS* aparentemente como salida para sus miembros. La Academy es un «club» que se autoperpetúa y que consta de unas 1.500 personas que se consideran a sí mismas como los mejores expertos del país. Fue creada por el Congreso de Estados Unidos con el propósito de asesorar al gobierno sobre cuestiones científicas y, aunque cumple bien esta función, también sirve como una especie de «lista de

honor» de la ciencia americana. La mayoría de los demás países desarrollados tienen organizaciones similares. En algunos países, como la Unión Soviética, pertenecer a la academia supone un alto grado de autobombo y privilegio. En otros, incluidos los Estados Unidos, pertenecer a la academia abre unas cuantas puertas y es agradable para el ego, pero poco más. Tal vez es porque todo el mundo se da cuenta de que muchas personas que no pertenecen a la Academy son tan buenas o mejores que los que están en ella. Desde que me eligieron miembro hace unos años, he experimentado dos «victorias» para mi carrera: una publicación reseñada por colegas profesionales me rechazó un trabajo de investigación y se me rehusó una propuesta para la National Science Foundation (Fundación Nacional de Ciencias).

Como miembro de la Academy, al publicar en *PNAS* no tenía que someterme a la revisión a cargo de colegas. Supongo que debía de haber cierta inseguridad rondando la decisión tomada por Jack y por mí de enviar nuestro artículos a *PNAS*, pero preferiría decir que queríamos hacer que nuestro trabajo circulase públicamente sin pasar por el retraso y el jaleo de la revisión formal. De las muchas críticas a nuestro trabajo que se han publicado desde entonces, sólo una o dos nos han reprochado el evitar el proceso de revisión. En cualquier caso, la extinción periódica ya estaba totalmente al descubierto y dispuesta a ser acogida o destruida por la comunidad científica internacional.

Capítulo 8
Ha nacido Némesis

Astrofísica y paleontología

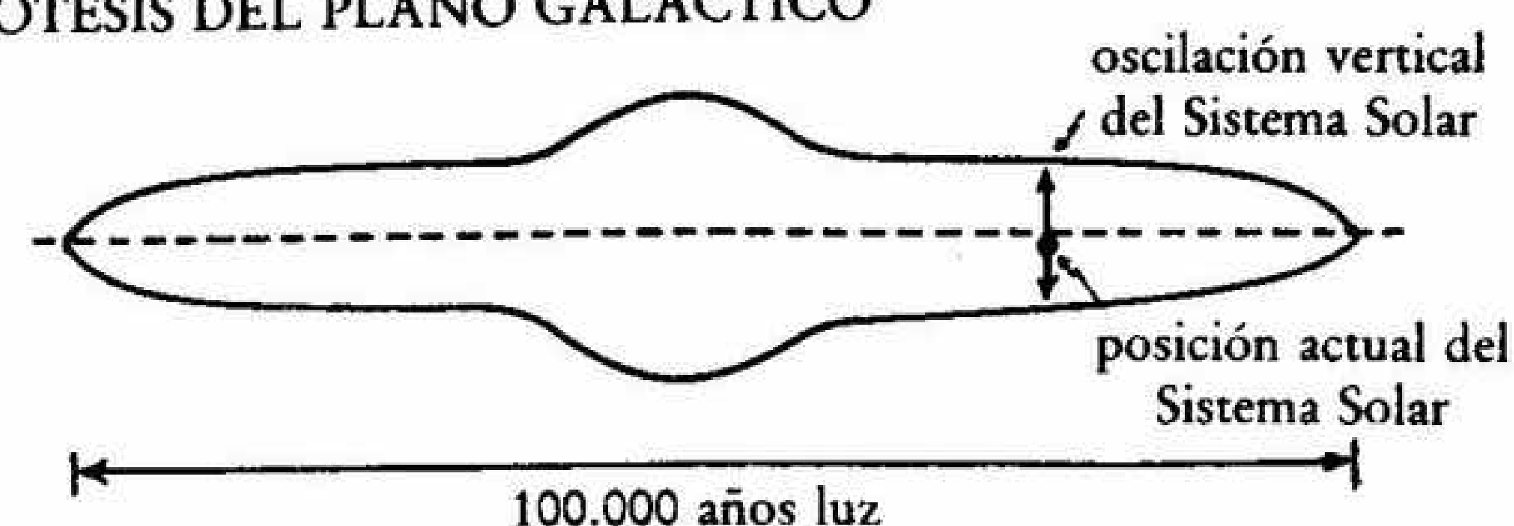
En Flagstaff, Jack y yo habíamos lanzado un desafío a los astrónomos y astrofísicos para que explicaran la periodicidad de 26 millones de años. Sorprendentemente, respondieron. Por lo general, nadie hace caso de tales desafíos, supongo que porque la comunicación entre disciplinas no es muy buena. Cada campo es una cultura complicadísima que se dedica a interesantes problemas propios. Es más, ninguno de nosotros posee la amplitud de preparación necesaria para apreciar las preguntas que surgen en la mayoría de los demás campos, especialmente si hablamos de campos tan alejados y distintos como la paleontología y la astrofísica. La astrofísica tiene fama de ser la más difícil de las ciencias difíciles: para muchos observadores, ocupa un puesto más alto incluso que la física de altas energías. La paleontología, por otra parte, tiene cierto regusto decimonónico: naturalistas y esfor-

zados aficionados como Louis Leakey que dedican su vida a descubrir nuevos restos de fósiles.

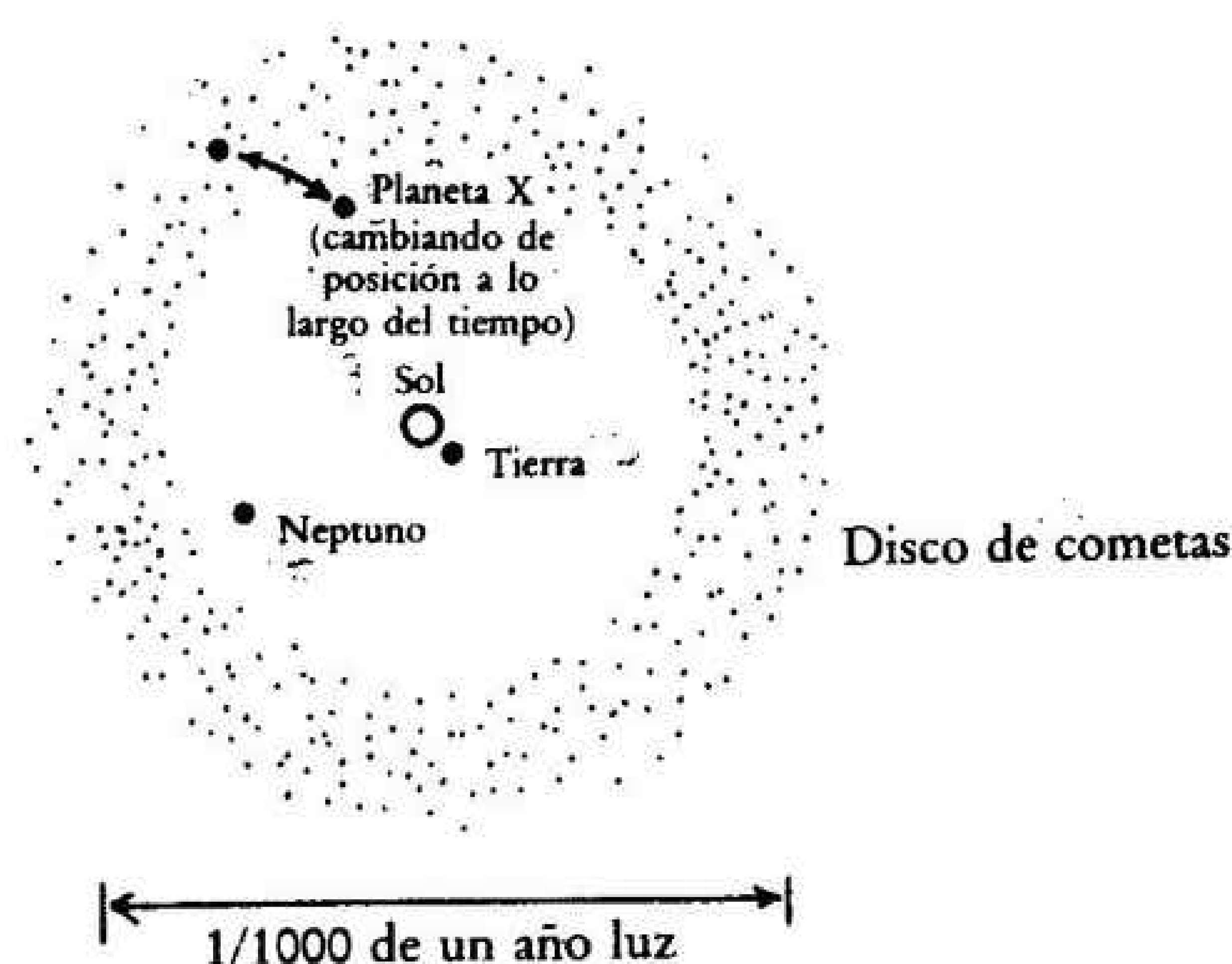
Por suerte, los astrofísicos se enteraron de lo de la extinción periódica de una forma que podían comprender. A las pocas semanas de la ponencia de Jack en Flagstaff aparecieron tres buenos artículos sobre el estudio de la extinción en la prensa científica y popular. Roger Lewin, de *Science,* escribió sobre ello como parte de un reportaje general sobre el congreso de Flagstaff. Cheryl Simon, de *Science News,* siguió con una crónica excelente basada en el artículo de Lewin y algunas entrevistas. Y George Alexander, del *Los Angeles Times,* escribió un artículo claro e impuesto en el tema. Estos tres escritores, que se cuentan entre los mejores periodistas científicos, escribieron unos artículos interesantes y exactos desde el punto de vista técnico. Los astrofísicos se sintieron tan intrigados que una serie de ellos empezó a trabajar de firme en el problema. Al final, esto dio origen a Némesis.

Habría que recordar que mucha gente pensaba en la extinción en masa a finales de verano de 1983. La propuesta de Alvarez sobre la extinción en masa a causa de un impacto de meteorito se estaba discutiendo y los periodistas científicos seguían la historia. Menos importante, pero con todo significativo, era el creciente interés público y científico por la extinción contemporánea de las selvas tropicales creada por el hombre. Estoy seguro de que ningún periodista, con la posible excepción de Roger Lewin, habría informado sobre el congreso de Flagstaff de no haber sido por el continuo interés por la extinción. Y si la empresa no hubiera informado sobre la ponencia de Jack, hay muchas posibilidades de que los astrofísicos nunca se hubieran enterado del desafío que les habíamos planteado.

Hay unos divertidos detalles sobre la situación de la







Las tres hipótesis astronómicas principales propuestas para explicar la extinción periódica: oscilación a través del plano galáctico, la estrella compañera (Némesis) y el Planeta X. *Arriba:* corte transversal de la Vía Láctea mostrando la posición actual de nuestro sistema solar cerca del plano galáctico. El Sistema Solar cruza el plano galáctico cada 31 a 33 millones de años. *En medio:* órbita propuesta de Némesis en relación con el Sistema Solar. Se dice que Némesis atraviesa la Nube de Oort de cometas cada 26 millones de años: *Abajo:* nuestro Sistema Solar mostrando el disco de cometas en relación con la posición cambiante del Planeta X en su órbita excéntrica y variable. Se debe hacer hincapié en que ninguno de los diagramas está dibujado a escala: si se intentara hacerlo en el caso del dibujo superior, por ejemplo, el Sistema Solar sería tan pequeño que resultaría invisible.

astrofísica y la paleontología como partes alejadas del espectro científico. En muchos aspectos, la paleontología es parte de la geología y ésta tiene una curiosa autoridad moral sobre la astrofísica. Esto proviene de dos o tres ocasiones en que la astrofísica ha quedado en mal lugar por descubrimientos dentro de la geología. El mejor ejemplo es ese extraño período, creo que fue en los años 50, en que se decía que la Tierra era más antigua que el universo que la contenía. Cada una de las dos ramas de la ciencia tiene sus propios medios para calcular la duración de los acontecimientos en el pasado remoto. Durante un breve período, los astrofísicos calculaban que el universo tenía unos tres billones de años y los geólogos pensaban que la Tierra era algo más joven. Esto estaba bien, porque la Tierra no puede ser más vieja que el universo. Pero luego, los geoquímicos emplearon unos métodos nuevos para medir la edad de la Tierra. El resultado fue la cifra actual de unos 4,5 billones de años. No tardaron los astrofísicos en recuperarse. Pronto se calculó que el universo tenía de 17 a 20 billones de años: un cómodo margen.

No sé a ciencia cierta si el problema de la edad de la Tierra y el universo influyó realmente sobre la forma en que los astrofísicos recibieron los argumentos sobre la extinción periódica. Sin embargo, la anécdota sobre la edad del universo sí que pone de manifiesto que entre las disciplinas científicas puede operar una dinámica extraña.

En cualquier caso, una serie de astrofísicos muy capaces se sintió lo suficientemente interesada por la afirmación de que se producen extinciones cada 26 millones de años como para dedicar tiempo de estudio y energías tratando de dar con una explicación cósmica. No olviden que este interés se formó antes de que nuestro trabajo hubiera sido comprobado y evaluado por nuestros pro-

pios colegas paleontólogos. Lo único que tenían los astrofísicos eran informes de prensa sobre una investigación que estaban realizando dos paleontólogos de Chicago, de los cuales probablemente nunca habían oído hablar.

Nature: *19 de abril de 1984*

El número del 19 de abril de 1984 de la publicación británica *Nature* presentaba en la portada una fotografía en color de Meteor Crater, Arizona, y las palabras *extinciones en masa.* El número contenía no uno, sino cinco artículos científicos y dos editoriales sobre el tema de la extinción periódica en el registro geológico. Los redactores de *Nature* ordenaron los cinco trabajos de investigación por orden de llegada, como sigue:

Recibido el 15 de noviembre de 1983: M. R. Rampino y R. B. Stothers vuelven a calcular las estadísticas de la extinción, con el resultado de 30 millones de años en lugar de 26, comunican la existencia de una periodicidad significativa de 31 millones de años en los cráteres de impacto y afirman que el movimiento del Sol perpendicular al plano galáctico es responsable de ambas cosas.

Recibido el 16 de noviembre de 1983: R. D. Schwartz y P. B. James interpretan la periodicidad de 26 millones de años en la extinción como efecto del movimiento del Sol perpendicular al plano galáctico.

Recibido el 3 de enero de 1984: D. P. Whitmire y A. A. Jackson IV interpretan la periodicidad de 26 millones de años en la extinción como efecto de una estrella compañera todavía por descubrir.

Recibido el 3 de enero de 1984: M. Davis, P. Hut y R. A. Muller interpretan la periodicidad de 26 millones de años en la extinción como efecto de una estrella compañera todavía por descubrir. Bautizan a la compañera no descubierta con el nombre de «Némesis».

Recibido el 30 de enero de 1984: W. Alvarez y R. A. Muller notifican que los cráteres de impacto se producen periódicamente cada 28 millones de años.

En estos cinco artículos se volvían a calcular para su confirmación las estadísticas de la extinción, había dos análisis de las edades de los cráteres de impacto que mostraban periodicidades próximas a la de la extinción y había también dos interpretaciones astrofísicas diferentes (el movimiento galáctico y la estrella compañera). Los dos artículos del movimiento galáctico llegaron a *Nature* en días consecutivos de noviembre, y los dos artículos sobre la estrella compañera llegaron el mismo día de enero.

Como habrán advertido, los cinco artículos fueron enviados para su publicación antes de que el escrito por Jack y por mí estuviera publicado siquiera. John Maddox, redactor jefe de *Nature,* incluía en su editorial del mismo número ciertos reproches a Jack y a mí. Comentaba que si no hubiera hecho falta revisar los cinco artículos, éstos podrían haberse publicado realmente antes de la aparición del nuestro de *PNAS* en el que se basaban. Pensaba que esto ponía de manifiesto el problema nada infrecuente de que la circulación de copias previas en un círculo interno de colegas deja fuera a científicos igualmente valiosos que no forman parte de esa red. Maddox hacía el siguiente comentario sobre la circulación de copias previas de futuros artículos:

> Esta costumbre, por lo general entendida como una cortesía hacia colegas de otras partes... también puede hacer un flaquísimo servicio a otras personas. La queja más evidente contra el sistema es que es discriminatorio y excluye del grupo que

está al tanto a las personas que resulta que no están en la lista de correos de los autores.

Creo que el doctor Maddox planteaba un tema que debería preocupar a todos los investigadores científicos en activo. Sin embargo, en este caso no conocía todos los detalles. No se daba cuenta ni de los efectos de las crónicas periodísticas sobre el congreso de Flagstaff ni de que el tema de una red tenía poca o ninguna importancia en este caso. Jack y yo habíamos enviado una copia previa de nuestro artículo de *PNAS* al grupo de Alvarez en Berkeley por sus evidentes conexiones con su estudio sobre la extinción en masa. Aparte de eso, enviamos tal vez una docena de copias previas a una serie de colegas paleontólogos y geólogos que no las habían pedido. Los astrofísicos obtuvieron copias previas porque se enteraron del trabajo y solicitaron copias del manuscrito.

El resto del editorial de Maddox era una reflexión meditada y bien razonada sobre todo el asunto. No juzgaba la nueva investigación, aunque se esforzaba por señalar problemas dentro tanto de los análisis paleontológicos como de los astrofísicos. Pese al tono algo negativo, el editorial de Maddox era una buena introducción a la serie de artículos. Iba seguido de un comentario mucho más técnico de Anthony Hallam, de la Universidad de Birmingham. Expresaba grandes dudas de que Jack y yo hubiéramos demostrado el tema de la periodicidad.

Permítaseme ahora dar más detalles sobre las explicaciones astrofísicas propuestas en el número de *Nature* del 19 de abril de 1984.

El movimiento del Sol en la Galaxia

La galaxia llamada Vía Láctea, de la que formamos parte, es un complejo de estrellas en movimiento. La Galaxia tiene forma de disco. Al rotar en el espacio, nuestro Sol y sus planetas, asteroides y cometas suben y bajan lentamente por el plano galáctico. Este movimiento se conoce desde hace mucho tiempo y los libros de astronomía incluyen cálculos de la cantidad de tiempo que necesita el Sistema Solar para completar un ciclo de movimiento completo, desde debajo del plano galáctico hasta situarse por encima de él y de nuevo a la posición original por debajo del plano. Se piensa que la duración de este ciclo está entre 62 y 67 millones de años: los dos artículos de *Nature* citan varias cifras de este orden. El Sol cruza dos veces el plano galáctico en cada oscilación completa y por ello las travesías del plano se producen cada 31 ó 33 millones de años. (Los cálculos no son lo bastante exactos como para preocuparse por el hecho de que 67/2 es 33,5 en lugar de 33.)

En general se cree que al acercarnos al plano de la Galaxia cambian diversos aspectos de nuestro entorno cósmico. Tenemos una mayor probabilidad de encontrarnos con nubes interestelares de gas y polvo y los niveles de ciertos tipos de radiación pueden aumentar. Tanto el artículo de Rampino y Stothers como el de Schwartz y James publicados en *Nature* sugerían que los efectos del acercamiento al plano galáctico podrían producir efectos biológicos en la Tierra. Rampino y Stothers defendían la idea de que los encuentros cercanos con nubes interestelares perturbarían a los cometas de la Nube Oort y por ello aumentarían las probabilidades de que hubiera impactos de cometas en la Tierra. Schwartz y James sugerían que los aumentos de radiación cósmica y de otros tipos afectarían a los climas de la Tierra, lo

cual a su vez podría haber causado las extinciones cada 26 millones de años.

No habría que olvidar que en realidad la oscilación vertical del Sistema Solar no se puede ver y existe una considerable incertidumbre acerca del tipo de medio que hay cerca del plano de la Galaxia. Para un paleontólogo, los astrofísicos tienen una alarmante falta de datos basados en la observación. Recuerden por el Capítulo 1 que la Nube Oort de cometas (utilizada por Rampino y Stothers) no se ha visto nunca. Pero los astrofísicos parecen saber lo que se hacen.

Las explicaciones del plano galáctico para las extinciones producidas cada 26 millones de años tienen una gran ventaja sobre las otras explicaciones porque hacen que una cifra extraída del registro geológico (26 ó 30, dependiendo de quién haya hecho el análisis estadístico que se utilice) se aproxime mucho a una cifra derivada de manera independiente (31 ó 33) a partir de los estudios del movimiento galáctico. Sin embargo, la idea del movimiento galáctico plantea un extraño problema. Actualmente, nuestro Sol está muy próximo al plano galáctico y, sin embargo, la extinción más reciente que localizamos Jack y yo es la de hace 11 ó 12 millones de años. Por ello, las extinciones indican que ahora nos encontramos a medio camino entre dos episodios. Lo cual debería situarnos cerca de la distancia máxima del plano galáctico. ¡Algo está mal! Los defensores de la explicación del plano galáctico se han zafado de la paradoja, lo cual no es sorprendente, mientras que a los defensores de la explicación de la estrella compañera la desincronización temporal les parece un problema tremendo.

La estrella compañera

Los dos artículos que proponían la estrella compañera eran notablemente parecidos. Ambos defendían la idea de un pequeño compañero solar con una órbita enormemente excéntrica: una órbita que lleva a la compañera a través de la Nube Oort una vez por cada revolución en torno al Sol. La perturbación accidental de las órbitas de los cometas de la Nube Oort produce entonces una lluvia de cometas sobre la Tierra y los impactos de cometas, causando la extinción en masa.

Ambos artículos llegaban a la conclusión de que la estrella compañera debe ser muy pequeña (probablemente menos de la décima parte de la masa del Sol) y que ahora debe de encontrarse a unos dos años luz de la Tierra. Muchas otras características de la compañera también coincidían en los dos artículos. Ambos equipos de astrofísica trataban de solucionar los mismos problemas, incluidas la necesidad de la existencia de un período orbital de 26 millones de años y la necesidad de que la compañera atraviese la Nube Oort una vez por revolución, pero que permanezca en ella un tiempo muy corto. En resumen, trazaban un planteamiento creíble que cumpliera los requerimientos necesarios al aceptar la periodicidad en la extinción propuesta por Jack y por mí.

Si existe una estrella compañera, ¿por qué no la hemos visto? Esta es una pregunta lógica planteada en ambos artículos. A una distancia de dos años luz, la compañera sería con diferencia la estrella más cercana a la Tierra, como a la mitad de la distancia de la siguiente más cercana (Próxima Centauri). Resulta que es fácil que pueda haber una estrella muy cerca que haya sido pasada por alto. De todas las estrellas visibles en el cielo, es sorprendente la pequeña cantidad que ha sido catalogada, y de éstas, sólo un pequeño número se ha estudiado lo

bastante como para establecer la distancia a la que están de la Tierra. Una estrella muy apagada cercana a la Tierra se puede confundir fácilmente con una estrella brillante más alejada, a menos que se tomen medidas del movimiento y la paralaje correctos. Nunca se han tomado estas medidas de manera sistemática. No es imposible en absoluto que una pequeña estrella se esté «ocultando» muy cerca de nosotros.

Otro problema evidente es si la órbita de la estrella compañera indicada sería estable durante largos períodos de tiempo geológico. Entre otros factores, puede que por casualidad pasen cerca de nosotros una variedad de estrellas de la Galaxia y que por ello desvíen la órbita de la estrella compañera por efectos gravitatorios. Unos encuentros tan cercanos serían sumamente raros, pero el tiempo geológico es lo bastante inmenso como para que esta probabilidad se haga cierta hablando de decenas y cientos de millones de años.

La idea de la estrella compañera es un ejemplo interesante de un estilo científico. Todo el razonamiento es oportunista. Al formular el modelo, se acepta la periodicidad de 26 millones de años en la extinción. Esta aceptación crea la necesidad de que la compañera tenga una órbita que, cuando esté en la Nube Oort, provoque todo el asunto. El resultado es comprobable, por lo menos hasta cierto punto. Se puede analizar la estabilidad de la órbita. Toda la idea se quedaría en nada si la órbita resultara altamente inestable.

De forma más directa, se puede organizar una búsqueda de la propia estrella. Richard A. Muller, uno de los autores del segundo artículo de *Nature* que proponía lo de la estrella compañera, está buscándola ahora enérgicamente con telescopio óptico. Empleando un sistema altamente computerizado, está empezando con una lista de posibles candidatas sacada de los catálogos de estrellas

oficiales y observando a cada una durante un tiempo. Si los catálogos de estrellas se terminan sin éxito, Muller pasará a unos reconocimientos del cielo más generales tanto en el hemisferio norte como en el sur. Si descubre la estrella en su órbita predicha, el modelo se habrá confirmado. Si fracasa, no habremos aprendido gran cosa. Puede que la estrella siga allí sin ser reconocida.

Némesis contra Siva

Como ya comenté, el artículo de *Nature* de Davis, Hut y Muller bautizaba a la supuesta estrella compañera con el nombre de «Némesis», y con ese nombre nos hemos quedado todos. Su declaración de bautizo decía lo siguiente:

> Cuando se encuentre a la compañera, si se la encuentra, proponemos que se la llame Némesis, por la diosa griega que persigue sin tregua a los excesivamente ricos, orgullosos y poderosos. Nos preocupa que si no se encuentra a la compañera, este artículo sea nuestra némesis.

En realidad, los tres autores proponían varios nombres distintos en una nota a pie de página en su manuscrito original, pero los redactores de *Nature*, en su sabiduría, eliminaron todos menos Némesis.

Pocos meses después, ese nombre fue puesto en entredicho en un divertido y astuto ensayo de Stephen Jay Gould publicado en *Natural History*. Su crítica adoptó la forma de una carta abierta dirigida a Davis, Hut y Alvarez, y decía así (en parte):

> Si Talía, la diosa de la alegría, os sonríe y encontráis la estrella compañera del Sol, por favor no la llaméis (como planeáis)

como a su colega Némesis. Némesis es la personificación de la ira justa. Ataca a los vanos o a los poderosos y trabaja por una causa determinada... Ella representa todo lo que nuestra nueva concepción de la extinción en masa está luchando por sustituir: las causas predecibles y deterministas que castigan a quienes se lo merecen.

Lo último que dice Gould es muy serio y refleja uno de los temas principales de su ensayo: que puede que la extinción en masa a causa del impacto de un cometa no sea un juego limpio, al sobrevivir los organismos mejor adaptados y perecer los demás. Para ampliar esta idea, Gould instaba a que la estrella compañera se llamara «Siva», como el dios hindú de la destrucción:

> Al contrario que Némesis, Siva no ataca blancos específicos por una causa o por castigo. Al contrario, su plácida cara refleja la tranquilidad y serenidad absolutas de un proceso neutral, dirigido contra nadie en particular...

Es realmente curioso que se produzca tal discusión por el nombre de un cuerpo celeste que jamás se ha visto y que puede que no exista. Tal vez sea adecuado que todos los candidatos sean dioses y diosas.

Tanto si existe Némesis como si no, ha adquirido vida propia en la teoría y la discusión científicas. Con frecuencia oigo a los astrofísicos decir cosas como: «La órbita de Némesis requiere...» o «Tu interpretación no puede ser correcta porque no encaja con Némesis». Los astrofísicos saben, claro está, que ni se ha visto a Némesis ni la teoría necesita su existencia. Pero así avanzamos en las investigaciones. La hipótesis de la estrella compañera hace ciertas predicciones y se considera viable hasta que se demuestre lo contrario. Cualquier campo de es-

tudios que desee ampliar sus horizontes tiene que utilizar este *modus operandi.* El sistema funciona bien siempre y cuando los participantes recuerden cuáles son las teorías que se han confirmado y cuáles no.

Periodicidad en la formación de cráteres

Recordarán ustedes que cuando Gene Shoemaker y yo hicimos una comprobación burda de la lista de cráteres de impacto en otoño de 1983, para ver si la formación de cráteres en la Tierra ha sido periódica, no obtuvimos ningún resultado positivo. Un ingrediente sorprendente de dos de los artículos de *Nature* del 19 de abril era un análisis estadístico que defendía la periodicidad en las edades de los cráteres. Rampino y Stothers descubrieron un período de 31 millones de años y Alvarez y Muller descubrieron un período de 28 millones de años.

Recuerdo vívidamente el día en que Alvarez y Muller descubrieron su periodicidad de 28 millones de años. Jack Sepkoski y yo nos enteramos de que la gente de Berkeley quería organizar una conferencia por teléfono sobre la extinción. Se solucionó el sistema de teléfonos y nos pusimos a hablar cinco personas: Jack y yo desde Chicago y Walter Alvarez, Rich Muller y Luis Alvarez desde Berkeley. Nos notificaron muy emocionados la periodicidad en la formación de cráteres y nos dijeron lo entusiasmados que estaban porque confirmaba tanto la extinción periódica como la idea básica de la extinción causada por el impacto de un gran volumen (no sólo en el episodio de finales del cretáceo, sino en más casos).

Hasta este momento, el grupo de Alvarez (en especial Alvarez padre) se había mostrado algo escéptico con respecto a nuestro análisis de la extinción periódica. Creo que esta duda se debía en parte a que seguían la idea

tradicional de que los meteoritos chocan con la Tierra de manera fortuita. También es posible que la idea de la periodicidad les pareciera contraria a la explicación de la extinción en masa del cretáceo a causa de un meteorito: el mecanismo de las extinciones periódicas en masa podría implicar otro tipo de fuerza impulsora que no fuera el impacto de un meteorito. También habría que decir que Luis Alvarez hizo unas críticas y sugerencias excelentes sobre nuestro análisis estadístico de las extinciones. Nuestro trabajo original no le resultaba convincente.

En cualquier caso, la formación periódica de cráteres hacía que fuera razonable juntar todos los elementos dispares del problema de la extinción: la formación de cráteres, la extinción periódica y el episodio del K-T. El único problema era que Jack y yo no estábamos muy convencidos del análisis de formación de cráteres hecho en Berkeley. El número de cráteres bien fechados es muy pequeño, y yo por lo menos estaba influido por el fracaso que habíamos tenido Gene Shoemaker y yo en nuestra búsqueda de formación periódica de cráteres.

Sin embargo, nuestro escepticismo desapareció a las pocas horas de la conferencia telefónica, después de que Jack y yo hubiéramos hecho nuestro propio análisis de formación de cráteres, usando los mismos programas de computadora que habíamos utilizado para el análisis de la extinción. Empleando varias formas distintas de selección de cráteres, obtuvimos exactamente el mismo resultado que nuestros colegas de Berkeley: 28 millones de años. Esto resultaba especialmente llamativo porque nuestros métodos eran totalmente distintos.

Pese a esta maravillosa conformidad, algunas personas siguen mostrándose escépticas hasta el punto de negar que los cráteres sigan pauta alguna. Y, realmente, las edades de los cráteres son muy inciertas.

El Planeta X

Ha surgido una explicación más de la periodicidad en la extinción. D. P. Whitmire y J. J. Matese publicaron un artículo en *Nature* en enero de 1985 sugiriendo que las lluvias de cometas también podrían ser producidas por un décimo planeta inadvertido hasta ahora, el Planeta X, situado más allá de la órbita de Plutón. Se trata del mismo Daniel Whitmire que era el autor principal de uno de los artículos sobre la estrella compañera del *Nature* del 19 de abril de 1984. La idea de un planeta perdido dentro de nuestro Sistema Solar lleva discutiéndose desde hace mucho tiempo a causa de unas posibles (aunque discutibles) discrepancias entre los movimientos observados y los movimientos predichos de los planetas exteriores. Por ello, el Planeta X cuenta con un atractivo previo.

Aunque la idea del Planeta X utiliza las lluvias de cometas para explicar las extinciones de la Tierra, el origen de los cometas es muy distinto del de la historia de Némesis. El importante astrónomo Gerard Kuiper, entre otros, postulaba la existencia de un disco de cometas más allá de la órbita de Neptuno. El disco de cometas, suponiendo que exista, no está cerca en absoluto de la Nube Oort: el disco está a unas 35 unidades astronómicas de distancia del Sol, y el cuerpo principal de la Nube Oort está a una distancia de 20.000 a 40.000 unidades astronómicas. Una unidad astronómica (UA) equivale a la distancia media entre la Tierra y el Sol (unos 150 millones de kilómetros o 93 millones de millas). Para algunos astrónomos, el disco de cometas de Kuiper no es más que el borde interno de la Nube Oort.

El planteamiento propuesto por Whitmire y Matese es inteligente y bastante complicado. No voy a intentar describirlo, sólo voy a decir que se refiere a los cambios

Hipótesis oportunista (ej).

regulares (precesión) de la órbita del Planeta X de manera que dicho planeta atraviesa el disco de cometas cada 28 millones de años, perturbando las órbitas de los cometas y provocando una lluvida de los mismos sobre la Tierra.

La hipótesis es oportunista, por supuesto, como lo es la hipótesis de la estrella compañera, y este caso presenta muchos de los mismos problemas relativos a la demostración y el fracaso. A Whitmire y Matese, su nueva idea les resulta muy atractiva porque se basa en el problema previo de las discrepancias en las órbitas de los planetas exteriores y porque estiman que la órbita del Planeta X sería más estable a lo largo del tiempo geológico que la órbita de Némesis. También afirman que su planteamiento sobre el Planeta X explica algunos rasgos del Sistema Solar que no guardan ninguna relación con el problema de la periodicidad en la extinción, como la persistencia de cometas en períodos cortos.

Pero ¿por qué no hemos visto al Planeta X si está ahí? Whitmire y Matese sugieren que la respuesta puede ser que el planeta extra tiene una inclinación inesperada con respecto al plano de los demás planetas y que la gente ha estado buscando donde no es. Sugieren además que los estudios con infrarrojos (IRAS) que se están realizando se podrían utilizar para detectar el Planeta X.

Así pues, tenemos una amplia colección de explicaciones astrofísicas de la extinción periódica. No se ha demostrado que ninguna sea correcta o errónea, aunque una serie de estudios críticos ha defendido o atacado con vehemencia una explicación u otra. La idea de Némesis ha atraído mucha más atención pública que las demás, tal vez debido al nombre. Desde finales de 1985, no oigo argumentos convincentes en un sentido u otro. Némesis y el Planeta X tienen un atractivo natural porque pueden ser descubiertos realmente y verificar en serio —si es que

existen—, mientras que no se puede conseguir ni una sola prueba para la idea del plano galáctico. Pero esto no es razón para preferir a Némesis o al Planeta X por encima de la otra propuesta. Como paleontólogo, estoy disfrutando con todo esto y espero que alguien tenga razón.

Capítulo 9

Aumenta la controversia

La idea de Némesis ha provocado una tempestad de discusiones y debates. Estos debates no son sorprendentes, porque la ciencia es fundamentalmente un proceso de enfrentamientos. Sin embargo, las discusiones en torno a Némesis y a las afirmaciones asociadas a ella sobre la extinción a causa de un impacto y sobre la extinción periódica han tenido un ritmo y un volumen mayores de lo normal. Por ello, ilustran el fenómeno de la controversia con más claridad que otros ejemplos.

Controversia dentro de la ciencia

La discusión científica adopta varias formas y se produce en más de un ruedo. El ruedo formal (u oficial) es la publicación científica. Una idea o serie de conclusiones discutibles por lo general estimula a la gente para realizar estudios adicionales sobre un problema. Una vez

hecho el nuevo estudio, se redactan los resultados y se someten al proceso de revisión a cargo de colegas profesionales y puede que se publique un artículo. La comunidad científica puede entonces evaluar el nuevo trabajo en comparación con su predecesor. Salvo en casos que no tienen vuelta de hoja, puede que el procceso se tenga que llevar a cabo varias veces antes de que la idea, en principio discutible, sea aceptada o rechazada.

Aunque este planteamiento es pura rutina, hay muchas variantes y con frecuencia el sistema formal queda eclipsado por acontecimientos simultáneos. La variante más común es que un artículo discutible sea rebatido explícitamente en un número posterior de la misma publicación. *Nature* tiene una sección especial bajo el título de «Cuestiones que surgen». *Science* publica lo que llama «Comentarios técnicos», etcétera. La forma de estos intercambios es bien fija: los redactores envían el artículo en contra al autor o autora del artículo original para que responda. Luego, el artículo en contra y la respuesta se publican juntos. De esta manera, el autor original tiene la última palabra por el momento.

Cuando surge una idea o conclusión realmente controvertida, todo este proceso tan organizado tiende a derrumbarse. Así ocurrió efectivamente en el caso de la teoría de Alvarez sobre la extinción de los dinosaurios y aún más con la extinción periódica y Némesis. Un tema candente hace que salten los circuitos del sistema. Los artículos de las publicaciones requieren de dos meses a dos años para ser procesados y publicados: la media es tal vez de diez a doce meses. Me han dicho que en algunos campos de rápido progreso, dentro de la física de altas energías y la biología molecular, se discuten y se solucionan los problemas mucho antes de que se publique el primer artículo. Los artículos se siguen publicando, por supuesto, por su importancia para los ar-

chivos. Además, publicar es el alma del currículum vitae. Muchas controversias funcionan tanto a base de rumores como por medios formales. «¿Te has enterado de que el cuarzo deformado del límite K-T pudo haberse formado fácilmente en las venas diamantíferas?» «¿Sabías que hay más iridio en un poco de carbón del que Alvarez ha podido encontrar jamás en la arcilla del límite K-T?» «Tengo entendido que sus estadísticas no se sostienen». «Toda la idea de la Nube Oort está siendo objeto de crítica». «Tengo entendido que Joe Jones de Caltech ha descubierto un fallo garrafal». Etcétera, etcétera. Algunos rumores de este tipo son ciertos, por supuesto. No hay ninguna ley en la ciencia que diga que lo que se sabe de oídas tiene que ser erróneo. Y notificar informalmente cosas leídas u oídas es sin duda una forma válida de comunicación. Pero esta clase de comunicación puede ser sumamente perjudicial para la verdad, como lo es en los asuntos humanos en general. De hecho, probablemente los rumores constituyen un problema en la ciencia menos grave que en muchos otros campos: la política, por ejemplo. La ciencia, al menos, tiene unos mecanismos razonablemente eficaces (como la publicación revisada por colegas profesionales) para eliminar los rumores infundados.

Ha habido todo tipo de rumores en los campos relacionados con el Asunto Némesis, especialmente dado que tantos participantes están trabajando fuera de sus áreas de preparación principal. Yo me eduqué en Harvard como geólogo y sin embargo no me di cuenta de que las kimberlitas no tienen suficiente cuarzo de ningún tipo que llame la atención. Y no había oído hablar del iridio hasta hace cinco años.

La controversia dentro de la ciencia también se realiza en otros medios diversos. Casi todos los científicos en activo pasan gran parte del año presentando su trabajo

—y sus ideas sobre el trabajo de otros— en congresos oficiales y como invitados a conferencias y seminarios en su propia institución y en otras. En la época progresista de los años 60 se decía a menudo y en tono de guasa que los rectores y decanos de las universidades medían el éxito por la cantidad de profesores de facultad que estaban en un avión en un momento dado. Las cosas se han apaciguado un poco, pero dar conferencias sigue siendo un método básico de comunicación científica. Y las conferencias casi nunca se publican.

La prensa, tanto científica como profana, también tiene su papel. Tiene el efecto de acelerar el flujo de información y opinión. En algunos casos, interviene en el curso de las propias investigaciones.

Un problema especial que se relaciona con la prensa merece ser mencionado aquí. La mayoría de las publicaciones sigue la política de no publicar resultados de investigaciones que los autores ya hayan publicado en otro sitio. Es una política totalmente razonable que se puede pasar de la raya. ¿En qué consiste publicar en otro sitio? ¿La crónica de George Alexander en el *Los Angeles Times* sobre la ponencia de Jack en Flagstaff? ¿O la crítica en un artículo científico de la copia previa del trabajo de otra persona? No hay una política consecuente de una revista a otra, pero todas tratan en cierto modo de controlar la publicación previa. El gran peligro es que una publicación rechace un artículo sólo porque se haya dado noticia de él en otra parte. Esto podría conducir a una absurda situación en que la información de la prensa invalide los resultados de una investigación.

Por último, unas palabras sobre los orígenes de la controversia científica. Casi todas las rutas para la controversia son claras, evidentes y no se diferencian de las que se dan en nuestra sociedad. Las ideas nuevas traen consigo el desacuerdo. De hecho, las disciplinas a las que

les falta agitación probablemente tienen problemas: o no tienen personas creativas o el dogma convencional es tan fuerte que el cambio resulta imposible.

En mi campo dentro de la ciencia existen otros cuantos acicates importantes para la controversia. Por lo general, se espera de un artículo científico que presente algo nuevo. Esto puede tomar la forma de nuevos datos que equivalen a un nuevo conocimiento o puede que el artículo apoye un concepto o teoría concretos. También puede ofrecer un concepto o teoría totalmente nuevos. Entre estas posibilidades, lo que más se valora son los nuevos conceptos y lo que menos se valora son las simples añadiduras al conocimiento real. En el lugar más bajo se sitúa el «resultado negativo», cuando alguien ha buscado algo o ha intentado un experimento y ha fracasado. Puede llegar a ser imposible publicar los resultados negativos, incluso los que tienen serias implicaciones. Por ello, al valorarse lo nuevo al máximo, hay una tendencia natural a exagerar la novedad o lo distinto de los resultados de la propia investigación, y esto puede provocar una controversia cuando no hay ninguna justificación para ello.

La forma retórica de los artículos científicos también ejerce una extraña influencia. Casi todos los artículos tienen en cuenta dos o más conclusiones o interpretaciones de datos alternativas y luego se definen enérgicamente a favor de una sola. Es realmente raro leer un artículo que no termine de otra forma que no sea con una conclusión firme. No se suelen encontrar francas admisiones de incertidumbre, aunque a menudo se emplean expresiones como «los datos indican» a modo de suave advertencia. Yo sugiero que la tradición —y no es más que una tradición— de llegar a conclusiones firmes crea la controversia donde no hace ninguna falta.

La extinción periódica, objeto de críticas

Jack Sepkoski y yo publicamos nuestro artículo de *PNAS* en febrero de 1984, aunque nuestras ponencias de Dahlem y Flagstaff, además de los comentarios, hacía ya tiempo que se había extendido ampliamente. Hubo diversas reacciones, pero tendían a seguir ciertas líneas. En aquellos primeros tiempos, la prensa en general aceptó y apoyó la periodicidad. Esto no ha de sorprender, porque el negocio de los periodistas es informar de nuevos descubrimientos y, para muchos periodistas, un hecho es un hecho. Además, la historia de la periodicidad probablemente tenía más atractivo para el gran público si se podía dar por supuesto que era correcta. Al principio, muchos periódicos, revistas y reportajes de televisión incluían declaraciones de otros científicos, en especial paleontólogos. Algunos criticaban nuestras conclusiones, pero se tendía a restar importancia a estas críticas. Es más, pocos de nuestros colegas sabían entonces lo bastante sobre el trabajo como para hacer comentarios de peso.

Los científicos ajenos a la geología y la paleontología aceptaron en general nuestras conclusiones basándose o en las crónicas de la prensa o en la lectura del artículo de *PNAS*. Los astrofísicos que idearon la explicación de Némesis y otras sin duda creían en nuestro razonamiento. No había motivos para que no fuera sí.

Pero en 1985, muchas más personas «del oficio» se fijaron con seriedad en el problema de la periodicidad. Si las grandes extinciones seguían realmente un programa temporal preciso y si la fuerza impulsora era extraterrestre, las ideas sobre la historia de la vida tendrían que cambiar y, además, cambiar drásticamente. Ya no se podría considerar a las extinciones en masa como culminaciones de largas y complejas interacciones entre orga-

nismos y entre esos organismos y su medio. La confusión que todo el mundo reconocía en la historia de la vida no podría entenderse como una extensión de procesos que se pueden estudiar en entornos actuales. Y lo que es más importante, las nuevas hipótesis afirmaban que la biología de la Tierra se ve fuertemente influida, a la larga, por su entorno cósmico. Así pues, el uniformitarianismo lyelliano tendría que rendirse ante el catastrofismo cuveriano.

La meditada reacción de los paleontólogos fue negativa en su mayoría y se formó un arsenal de fuertes críticas, que constaban de los siguientes puntos más importantes:

1. Raup y Sepkoski no empleaban una definición uniforme de la extinción en masa. Habrían obtenido diferentes resultados si hubieran utilizado distintas medidas para la intensidad de la extinción.
2. El registro de fósiles se conoce de forma demasiado incompleta para realizar un análisis estadístico amplio y válido. El número de extinciones en un período dado de tiempo geológico se basa demasiado en el número de personas que han estudiado ese período y en el tipo de filosofías científicas que se hayan aplicado.
3. La taxonomía de la mayor parte de los grupos de fósiles es demasiado confusa para permitir el uso de catálogos de familias y sus duraciones en el tiempo.
4. La incertidumbre de la datación geológica socava cualquier intento de rastrear la historia de la vida con suficiente precisión como para descubrir ciclos de 26 millones de años aún cuando tales ciclos existan. No hay dos escalas temporales geológicas que coincidan.
5. La aparente periodicidad de 26 millones de años puede que sólo sea el resultado de las incertidumbres en la clasificación y datación de los fósiles.

6. Raup y Sepkoski utilizaron una muestra selectiva de tan sólo 567 familias, y esto puede haber dado el resultado de 26 millones de años.
7. En el análisis, se situaron las extinciones de familias a intervalos estratigráficos, con una media cada uno de poco más de seis millones de años. Si la intensidad de la extinción se comporta como puro azar, sería de esperar un punto álgido cada cuatro intervalos. Esto explica la aparente regularidad en el espaciamiento de los episodios.
8. La aparente regularidad en el espaciamiento de las extinciones se debe a que cada extinción está causada por fuerzas distintas e independientes.
9. Las extinciones son unos sucesos complejos controlados por muchos factores independientes. Buscar causas sencillas en inútil.
10. Hay abundantes pruebas de que los cambios a largo plazo en el nivel del mar son la causa principal de la extinción en masa.
11. Hay abundantes pruebas de que los cambios a largo plazo en el clima son la causa principal de la extinción en masa.

No voy a intentar aquí discutir o rebatir estos argumentos punto por punto. De todas formas, dudo que pudiera ser objetivo. No obstante, hay algunos denominadores comunes generales de los que merece la pena hablar.

Como notarán ustedes, varias de las críticas se refieren al carácter en general «chirriante» o incierto de los datos que Jack y yo utilizábamos. El argumento básico es: Si los datos basados en la observación son inciertos, cualquier conclusión basada en ellos será incierta. Esto es cierto en algunos casos, pero no con el tipo de examen estadístico que Jack y yo hacíamos. Recordarán que al

tratar el tema del espaciamiento aleatorio de los episodios (el experimento de los ases negros del Capítulo 7) dije que la tarea principal en el análisis de la periodicidad era poder rechazar el espaciamiento aleatorio. Supongamos hipotéticamente que tuviéramos un registro perfectamente periódico: episodios ocurridos exactamente cada 26 millones de años. En tal caso, se rechazaría la hipótesis del azar de forma evidente y directa. Supongamos ahora que «ensuciamos» el registro añadiendo un componente de incertidumbre. Podríamos hacerlo, por ejemplo, adelantando o atrasando los episodios en el tiempo en cantidades elegidas al azar. Al estropear el registro de esta manera, la señal periódica se irá debilitando cada vez más y se llegará a un punto en que ya no podamos distinguir el registro de uno puramente aleatorio. Así —y esto es lo importante—, al añadir la incertidumbre al registro, lo hemos alejado de una simple pauta periódica y lo hemos acercado a la casualidad. Por esto, el hecho de que Jack y yo incluyéramos datos inciertos sólo hace que las pruebas de la casualidad sean más conservadoras. Para exagerar un poquito, si la periodicidad se transparenta a pesar de la taxonomía y la datación geológica inciertas, ¡es que debe estar ahí!

Hay otro problema general que se refiere a los conceptos de casualidad. Varias de las críticas que he enumerado caen en la trampa (o equivocación corriente) que traté en el Capítulo 7 al hablar del espaciamiento de los huracanes y de las inundaciones de cada 100 años. Los procesos aleatorios puede que produzcan un espaciamiento *medio* predecible entre episodios, pero no producen un espaciamiento *regular*.

Las dos últimas de las críticas enumeradas acuden a los cambios en el nivel del mar o el clima para explicar la extinción biológica. Esto está bien y merece discutirse. Lo que en realidad dicen muchos paleontólogos es: «Tenemos buenas explicaciones para las grandes extinciones, así que ¿qué falta hacen la periodicidad y sus interpretaciones del tipo de Némesis?» Baste decir que a mí los argumentos sobre el nivel del mar y el clima no me resultan convincentes. Pero estos argumentos los defienden algunos geólogos que tienen mucha más experiencia que yo. Además, existe la fascinante posibilidad de que todo el mundo tenga razón. Es posible que la periodicidad de la extinción refleje lluvias periódicas de cometas y que los impactos produzcan cambios a largo plazo en el clima y/o el nivel del mar. La secuencia de los cambios es un problema, pero tal posibilidad no debería descartarse sin más.

¿Cuántas de las objeciones planteadas por los paleontólogos son simplemente un movimiento reflejo en defensa del conocimiento convencional? Sin duda se da este elemento, pero no estoy seguro de su importancia.

Como ya dije antes, la mayoría de los paleontólogos ha reaccionado negativamente ante la periodicidad. Ha habido algunas excepciones, incluidos algunos especialistas excelentes (Steve Gould, por ejemplo). Entre los geólogos en general ha habido una mezcla de reacciones. Algunos, como Brochwicz-Lewinski, de Varsovia, y Ken Hsü, de Zurich, se han metido de lleno en el problema para buscar otras pruebas. Esto ha adoptado la forma de comprobar los episodios de extinción señalados por Jack y por mí en busca de iridio y otros indicadores del impacto de un gran volumen. Si se pudiera demostrar, por ejemplo, que los episodios de extinción que identificamos se relacionan de manera constante con impacto y si en los intervalos que los separan no aparecen impactos, la cosa estaría solucionada. Esto no ha ocurrido aún, pero está claro que es la dirección que hay que tomar. Al fin y al cabo, Jack y yo basamos nuestras conclusiones en la deducción estadística y las conclusiones siguen

siendo pura deducción hasta que puedan ser confirmadas o refutadas por otras clases de pruebas. El jurado sigue reunido y probablemente algo desconcertado.

Némesis, objeto de críticas

Némesis y las explicaciones relacionadas con ella —el movimiento del Sol en la Galaxia y el Planeta X— han sido sometidas a escrutinio y debate. Aparte de algunos rechazos que tienen que ver con el carácter oportunista de los planteamientos, los argumentos han girado en torno a la física del problema y a preguntas sobre si las explicaciones son viables en un sentido puramente técnico.

Un punto importante en el caso de las dos propuestas de la estrella compañera es si la órbita postulada sería estable durante los largos períodos de tiempo necesarios. Una estrella compañera tan pequeña y alejada del Sol podría ser desviada fácilmente por estrellas que pasaran y otros residuos galácticos. Dado que tales encuentros son impredecibles por naturaleza, el razonamiento debe ser estadístico. Piet Hut de Priceton (uno de los autores del artículo original sobre Némesis) ha realizado amplias simulaciones por computadora con estrellas que pasan al azar para calcular el promedio de esperanza de vida de una estrella compañera en su supuesta órbita. El resultado satisface a algunas personas, pero no a otras. Hay una posibilidad de que la órbita «baile», así como la posibilidad de que la estrella compañera sea expulsada de su órbita por completo.

Una objeción bastante curiosa a la idea de Némesis es que el tambaleo de la órbita causaría un promedio de variación del 10 por 100 a lo largo del período, variación que no se ve en el espaciamiento de las extinciones en

el registro de fósiles. Por ello, se dice que la periodicidad de Jack y mía ¡es demasiado perfecta para ser explicada mediante Némesis! Esto resulta irónico, a la vista de los razonamientos típicos de los paleontólogos sobre la falta de nitidez de nuestra periodicidad.

No estoy lo bastante impuesto en astronomía y astrofísica como para juzgar los argumentos que se están intercambiando. Sin embargo, tengo la impresión de que la totalidad de la comunidad científica piensa que la idea de la estrella compañera es posible técnicamente, pero no muy probable. Hay suficientes pruebas que la apoyan como para hacer que una serie de grupos de investigadores, además del de Rich Muller, se una a la búsqueda. Puede que esté influyendo la posibilidad de un Premio Nobel al final del camino. (Una cosa buena de la paleontología es que no tiene posibilidades de aspirar al Nobel.)

No puedo decir nada sobre lo que ha ocurrido con la propuesta del Planeta X. No ha sido un tema de interés en las principales publicaciones internacionales. Pero sospecho que seguirá acechando, aunque no sea más que porque renueva un problema de nuestro Sistema Solar planteado desde hace ya tiempo.

Sin embargo, el planteamiento del movimiento del Sol por la Galaxia se ha discutido acaloradamente. Recuerden que esta idea cuenta con un apoyo que a Némesis le falta: el cálculo convencional de 31 a 33 millones de años de duración del intervalo que hay entre travesías del plano galáctico. El problema principal es si las nubes moleculares gigantes y otra materia están lo bastante concentradas cerca del plano de la Galaxia como para provocar la marcada diferencia entre las intensidades de la extinción en masa y la extinción normal requeridas por el modelo. Además, se ha dicho que el espaciamiento de las extinciones es demasiado perfecto para ser explicado

por la situación sumamente irregular de materiales cerca del plano galáctico. Y también está el argumento de que si la explicación galáctica fuera correcta, ahora deberíamos estar inmersos en un episodio de extinción en lugar de a medio camino entre dos de ellos.

Cráteres de impacto

Las edades de los cráteres causados por impacto en la Tierra y su posible periodicidad son elementos importantes en todo este asunto. Por una parte, la propuesta a favor de la periodicidad en la formación de cráteres parece sostenerse bien. Se descubrió de manera independiente en Berkeley (por Walter Alvarez y Rich Muller) y en la NASA (por Mike Rampino y Dick Stothers). Y Jack y yo encontramos lo mismo con técnicas distintas después de que el grupo de Berkeley nos hubiera animado con sus hallazgos. Además, cuando se combinan las pruebas a favor de la periodicidad en la formación de cráteres con las que hay a favor del impacto como causa de la extinción, se produce un conjunto muy creíble. Todo coincide, y esto es importante para la supervivencia de una hipótesis científica.

Por otra parte, los análisis estadísticos de la formación de cráteres han sido atacados con muchos de los mismos argumentos que se han esgrimido en contra del trabajo sobre la extinción. Sin duda es cierto que la datación de cráteres es espantosa. Tan espantosa, de hecho, como para dejar un poco mal mis anteriores argumentos sobre el efecto de los datos inciertos o chirriantes. No obstante, creo que mi anterior argumento se sostiene. Por confusos que sean los datos, si una hipótesis a favor de la casualidad se puede rechazar, no es la confusión de éstos lo que provoca el rechazo, a menos, claro está, que se

hagan trampas conscientes o inconscientes al seleccionar los datos que se van a analizar. La trampa consciente es fácil de evitar, pero la trampa inconsciente no lo es.

Como es natural, se ha dado mucha importancia a la casi coincidencia de los análisis de la formación de cráteres y de la extinción. Para la mayoría de los observadores, el uno confirma al otro, aunque para algunos, dos equivocaciones no se pueden unir para formar un acierto. Gene Shoemaker lo ve de otra manera. Ahora acepta que las edades de los cráteres se agrupan en el tiempo y está dispuesto al menos a considerar la idea de que los impactos causan la extinción. Pero afirma que esta unión de causa y efecto elimina la capacidad de utilizar los análisis de la formación de cráteres y de la extinción como pruebas independientes.

¿Son independientes Némesis y los dinosaurios?

Si la idea de Némesis o cualquiera de las otras hipótesis astrofísicas tiene éxito, ¿añade esto más pruebas a la propuesta original de Alvarez de que las extinciones del final del cretáceo fueron causadas por un impacto? ¿Hasta qué punto cada una de las diversas teorías de las que he estado hablando depende o enriquece a las demás? Como podrán suponer, las cosas se han puesto algo confusas con un intercambio tan rápido de tantas ideas.

Podemos separar varios elementos del problema. Desde 1980, ha habido cinco propuestas claramente distintas, a saber:

1. El impacto de un gran meteorito (cometa o asteroide) hace 65 millones de años fue la causa directa o indirecta de la extinción de los dinosaurios y muchos otros organismos de final del cretáceo.

2. Varias otras extinciones en masa también fueron causadas por el impacto de un gran volumen (al final del eoceno, en el jurásico medio, al final del pérmico, al final del devónico y al final del precámbrico).

3. Los episodios de extinción más importantes de los últimos 250 millones de años están espaciados regularmente, cada 26 a 30 millones de años.

4. Los cráteres de impacto de la Tierra también son periódicos y coinciden aproximadamente con las extinciones.

5. La extinción y la formación periódicas de cráteres están impulsadas por un fenómeno extraterrestre claramente definido (la estrella compañera o el Planeta X o la posición cambiante del Sol en la Galaxia).

Cualquiera de esta proposiciones puede estar totalmente equivocada. Hemos visto que cada una tiene sus detractores. Varios científicos competentes encuentran más pruebas de vulcanismo en el límite K-T que de un impacto de meteorito. Cada una de las otras cinco propuestas sobre el impacto y la extinción presenta problemas de base o de interpretación. Los análisis de ambos tipos de periodicidad han sido criticados enérgicamente. Y los tres planteamientos astrofísicos son discutibles.

Mi propia confianza en las cinco propuestas varía, a veces en un mismo día. Sin embargo, sospecho que la probabilidad que tienen de ser correctas desciende siguiendo el orden en que las he enumerado, de modo que el impacto en el límite K-T como causa de la extinción es la que más visos tiene de ser probada.

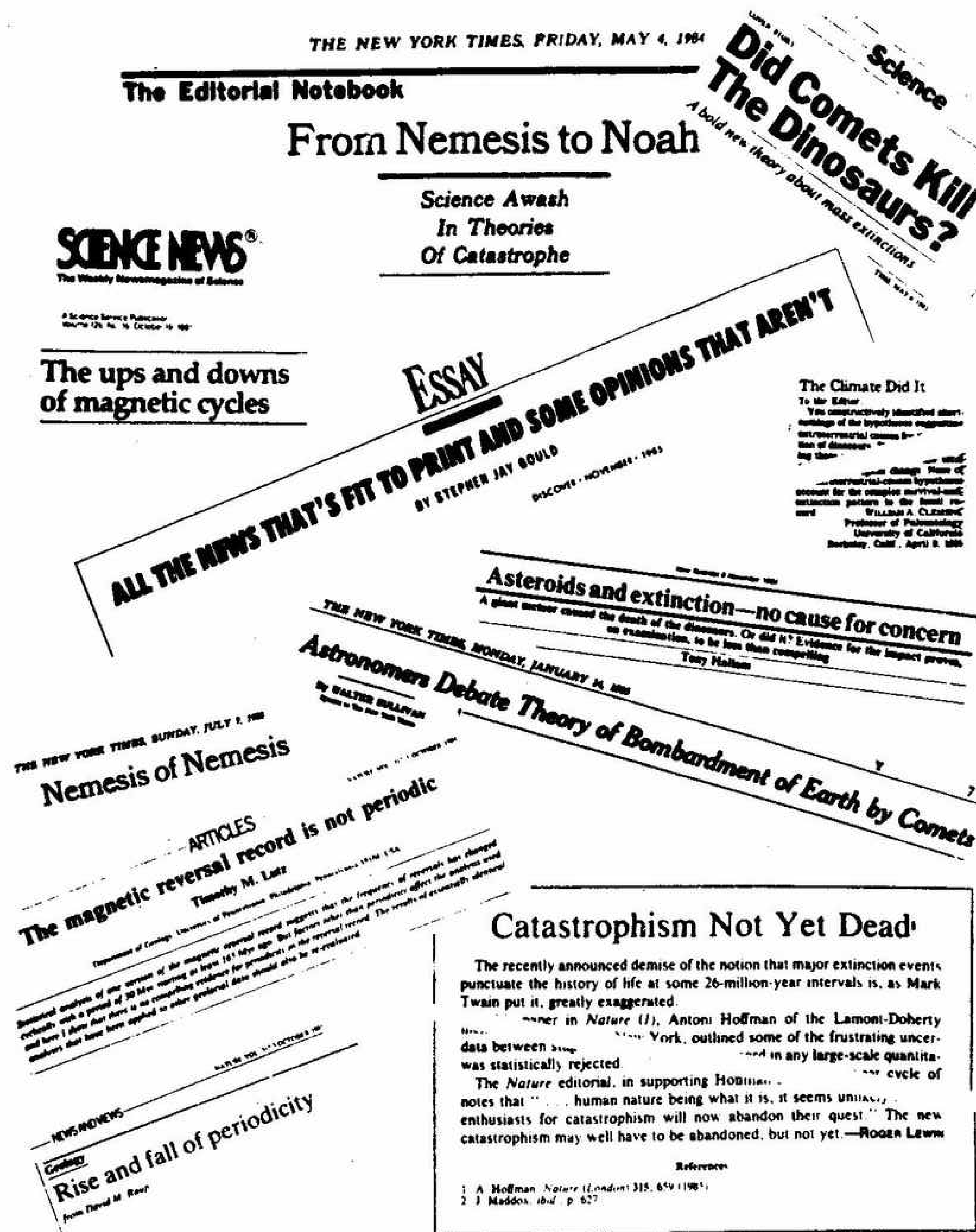
Si las cinco proposiciones son realmente correctas, tenemos un modelo general muy interesante y coherente para explicar la extinción biológica: la extinción causada por lluvias de cometas periódicas impulsadas por un movimiento regular galáctico o del Sistema Solar. Pero en

el caso más probable de que una o más de las proposiciones, esté equivocada, ¿qué efecto tiene esto sobre las demás?

Yo lo interpreto así. El impacto como causa de extinción puede resistir solo. Sabemos que grandes objetos han chocado con la Tierra a lo largo de su historia. No hay razones para que tengan que ser regularmente periódicos. Así que si la periodicidad y Némesis caen, el impacto del K-T queda ileso. Del mismo modo, la periodicidad en la extinción no depende en realidad de ninguna de las otras hipótesis, aunque éstas la apoyen. La periodicidad podría ser cierta, pero impulsada, como sugería Al Fischer, por ciclos de convección que tienen lugar dentro de la Tierra. Aunque esta idea no me parece muy atractiva, no se puede desechar radicalmente.

Uno de los problemas de las discusiones de los últimos dos años es que la gente ha tendido a unir las distintas propuestas. Todo el asunto remueve grandes pasiones, y los resultados de la investigación de uno de los problemas suelen imponer su autoridad sobre los demás. Supongamos, por ejemplo, que Rich Muller descubre Némesis justo donde debería estar y con la órbita predicha. Estoy seguro de que tal cosa eliminaría la oposición a los impactos y la periodicidad casi de un día para otro. Y en cierto sentido sería justo, porque los demás elementos se habrían utilizado con éxito para predecir una observación seria. Pero, digo yo, la reacción sería más emocional que racional.

La solución de cualquiera de los problemas de los que he estado hablando tendrá un profundo efecto sobre la posición de los demás, a pesar del hecho de que afirmar que son interdependientes no es realmente válido.



Reacciones posteriores de la prensa recalcando cada vez más la discusión y la controversia. La mayoría de las crónicas destacaba las incertidumbres que rodeaban a la periodicidad y a las teorías del tipo de Némesis basadas en la periodicidad.

Capítulo 10

El papel de la prensa

Saganización

Los investigadores científicos se muestran ambivalentes hacia la prensa. Muchos colegas se quejan amargamente de la atención dada a otros científicos, pues opinan que la publicidad degrada la erudición y en general es desagradable, y luego se jactan de su propia y breve aparición en las noticias de la noche.

Las anteriores generaciones de científicos se han burlado de los asuntos públicos, limpios o sucios. Hace poco, mi padre me contó que, en los años 20, él mismo y muchos de sus colegas eran reacios a asistir a los congresos anuales de sus propias asociaciones científicas. ¡Era un poco demasiado público! En esto intervenía la actitud cultural que había entre los científicos, especialmente los universitarios, de que lo ideal era una especie de comunidad monacal de devotos eruditos llevando una vida de elegante pobreza. La mayoría de estas actitudes desapa-

reció tras la Segunda Guerra Mundial y en especial tras el lanzamiento del *Sputnik* en 1957 y gracias al gran apoyo de John Kennedy a la ciencia americana a principios de los 60. Ahora, la comunidad científica americana tolera e incluso fomenta el poseer un BMW (aunque un Cadillac probablemente no) y asistir a multitud de congresos. Sin embargo, sigue habiendo bastante desconfianza con respecto a la cara pública de la ciencia.

Creo que también el público americano se muestra ambivalente hacia la ciencia. Por una parte, se adora a los Einsteins y los Salks y se considera que la ciencia pura es importante para mantener y mejorar nuestro modo de vida. Se piensa que controlar las plagas usando feromonas para confundir la vida sexual de los insectos es una alternativa a los pesticidas químicos inteligente y beneficiosa, mientras que el senador Proxmire otorga el Golden Fleece Award (Premio Vellocino de Oro) a científicos sin ideas claras que aceptan el dinero del gobierno para estudiar la conducta sexual de los animales. Estas dos actitudes hacia la ciencia se expresan mejor que en ningún otro sitio en las páginas del *National Enquirer:* ambos enfoques aparecen a menudo el uno al lado del otro.

Un investigador científico que permite que su nombre aparezca llamativamente en la prensa está corriendo un riesgo. Si este mismo científico aparece en el programa de Johnny Carson o presenta una serie de televisión, puede esperarle el desastre. Me refiero a lo que yo llamo «saganización».

Carl Sagan, magnífico astrónomo, ha dejado su huella en varios campos de la ciencia. Ya de estudiante en Chicago, tuvo un efecto primordial sobre la comunidad universitaria encabezando discusiones y estudios sobre el origen de la vida y temas afines. Hizo que personas de muchas disciplinas diferentes hablaran entre sí. Ahora

ocupa la Cátedra David Duncan de Ciencia Física en Cornell y es director del Laboratory for Planetary Studies (Laboratorio de Estudios Planetarios) de Cornell. Fundó *Icarus,* una importante revista de astronomía del Sistema Solar, y su entrada en *Who's Who (Quién es quién)* es una de las más largas que he visto, con una lista aparentemente interminable de honores académicos y premios. Es miembro de la American Academy of Arts and Sciences (Academia Americana de Artes y Ciencias) —lo cual no es pequeña proeza para un físico—, aunque no pertenece a la National Academy (Academia Nacional). Mantiene un activo programa de investigación, enfocado ahora a la posibilidad de que exista vida en otros puntos del Sistema Solar.

Escojan a un biólogo o a un geólogo al azar y pregúntenle: «¿Qué opina de Carl Sagan?» Las respuestas no coincidirán, pero habrá un inquietante número de respuestas negativas. Oirán decir que Sagan está más interesado en la gloria personal que en la ciencia. Se enterarán de que su serie «Cosmos» era una vergüenza porque mostraba demasiados planos de Sagan y porque tenía fuertes connotaciones religiosas. Vende camisetas. Se pasa todo el tiempo dando conferencias y nunca realiza ninguna investigación. Sus conocimientos de biología son espantosos. No es gran cosa como astrónomo, aunque el que diga esto no sepa nada de astronomía ni de astrónomos. Etcétera. Esto es la saganización.

Por lo que yo sé a partir de mis propias observaciones, ninguna de las opiniones negativas se puede sostener. Resulta que yo creo que la serie «Cosmos» era un programa educativo excelente que contribuyó mucho a fomentar la comprensión de la ciencia entre el gran público. En una ocasión, una entrevista de Sagan y Phil Donahue se convirtió en una magnífica conferencia sobre química. Las conferencias científicas que he oído dar a

Sagan exponen una ciencia correcta y al día. Asiste a congresos científicos con regularidad, participa en las discusiones.

Es sorprendente la cantidad de científicos que se ha saganizado. Stephen Jay Gould es otro ejemplo. Gould, que es un erudito excelente e imaginativo, está abriendo nuevos campos en biología evolutiva y paleontología. Da la casualidad de que también sabe escribir y hablar muy bien, talentos que aumentan un interés por comunicarse con el gran público. Su saganización le molesta profundamente, porque sus objetivos más importantes son contribuir a su ciencia y ser respetado por ello por sus iguales. Carl Sagan, Steve Gould y otros ejemplos han llevado a muchas personas de la comunidad científica a mostrarse muy cautelosas con la prensa.

La prensa: científica y popular

Ya he mencionado los comentarios y editoriales publicados en *Science* y *Nature* sobre la cuestión de Némesis. *Science* y *Nature* forman parte de un grupo pequeño pero influyente de publicaciones científicas que editan muchas cosas sobre el mundo de la ciencia: su política, sus asuntos económicos y su esencia. Ambos semanarios tienen una amplia circulación internacional. Una parte importante de la comunidad científica lee uno de ellos o los dos, aunque los porcentajes varían mucho de una disciplina a otra. Ambos tienen secciones regulares de opinión, comentarios y noticias sobre investigación. El ejemplar de *Science* que tengo ahora en mi mesa, por ejemplo, trae un editorial sobre el uso de feromonas, una reseña sobre la epidemiología del SIDA, un reportaje sobre el descubrimiento del *Titanic* y un artículo de las nuevas teorías sobre los anillos de Saturno. El número actual de *Nature* trae discusiones sobre la investigación industrial en Japón, el SIDA en Polonia, la educación en Illinois y las bibliotecas soviéticas, y reseñas sobre los estudios actuales de la contracción muscular y de la cristalografía del virus del catarro. Estas publicaciones también aportan una gran cantidad de artículos científicos originales.

Las reseñas y comentarios sobre investigación están escritos por personas altamente cualificadas: la mayoría tiene un doctorado en ciencias. *Nature* invita a los propios científicos en activo a escribir las reseñas. Esto significa que por lo general la calidad de la información es buena. Sin embargo, el hecho de que los comentarios estén bien cualificados significa que tienden a expresar sus propias opiniones de estudio sobre las cuestiones científicas importantes. Esto rara vez se da en la prensa popular.

La prensa científica está teniendo una influencia directa cada vez mayor sobre el progreso de la ciencia y tal vez sobre su esencia. Todo se ha acelerado en los últimos años, porque un reportero de una publicación puede asistir a un congreso científico, entrevistar a los participantes, hablar con otras personas por teléfono y tener una crónica publicada en dos o tres semanas. Y los reporteros de las publicaciones tienen que ser casi sobrehumanos para pasar tan deprisa de una misteriosa subdisciplina a otra. En contraste con el telón de fondo del lentísimo ritmo de la publicación normal de estudios, los reportajes de noticias causan un importante impacto. Nos proporcionan a todos una forma común de seguir un volumen de literatura básica demasiado ingente para poder leerla u hojearla siquiera.

En el otro extremo del espectro está el periódico diario y el noticiario de televisión y la revista semanal de noticias. Todos ellos informan sobre la ciencia, pero la

atención es irregular y los periodistas rara vez tienen una preparación científica, aunque la calidad general ha mejorado enormemente en los últimos años. Hay algunos magníficos reporteros de ciencia en la prensa popular, incluidos Walter Sullivan, del *New York Times* (considerado como el decano de los periodistas científicos americanos); George Alexander, del *Los Angeles Times;* Boyce Rensberger, del *Washington Post,* y unos cuantos más. Sin embargo, con demasiada frecuencia se encargan crónicas científicas a redactores de cosas generales o a quien quiera que esté disponible en ese momento. Como es lógico, la prensa popular pone el acento en temas de evidente interés humano.

Curiosamente, la ciencia rara vez tiene una sección asignada y fija en la prensa popular. La astrología, los deportes, la jardinería y el ajedrez reciben una atención informativa mucho más constante. El *New York Times* lleva los martes una sección de ciencia no muy definida, pero hay que buscar con lupa las noticias sobre ciencia en el «Repaso de la Semana» de los domingos. Yo pienso que para el público lector la ciencia es algo más que esto y merece un tratamiento más sistemático.

Entre el periódico diario y la publicación científica están la revista de ciencias y el documental de televisión. *Scientific American* ha sido durante años una característica típica de las salas de espera de los médicos, pero se trata de material bastante serio hasta para los científicos profesionales que leen cosas fuera de su campo. Sin embargo, en los últimos años, ha aparecido una buena cantidad de revistas de ciencias dirigidas al gran público que al parecer prosperan: *Discover, Science Digest, Science 85* (o *86...*), *Omni,* etcétera. Incluso *Popular Science* se ocupa más de la ciencia. Estas revistas tienden a dar importancia a los temas candentes y a las personalidades notables. Con reportajes o crónicas «en páginas centrales», pueden saganizar a un científico muy recatado de un día para otro. Además, como es propio de todo el periodismo, las revistas de ciencia se alimentan de las crónicas de las demás, por lo que la misma cosa aparece repetida una y otra vez. Pero, en general, la calidad ha sido excelente y ha aumentado la comprensión de la ciencia entre el público.

Los documentales televisivos sobre ciencia son importantes, aunque creo que este medio presenta problemas especiales. Debe haber imágenes. Las imágenes de objetos o animales están bien —como las serpientes y los cometas—, pero la televisión se topa con dificultades cuando trata de filmar a los científicos que están investigando a las serpientes o a los cometas. ¿Cómo se filma a alguien que está pensando? ¿O discutiendo con un colega? ¿Qué se hace con un científico que no tiene instrumentos con luces destellantes ni experimentos que hagan mucho ruido? Por mi propia experiencia en los dos últimos años, la gente de televisión resuelve este problema obligando a cuantos científicos sea posible a ser filmados en un laboratorio o sobre el terreno, preferiblemente con casco y gafas protectoras. Esto distorsiona amplias áreas de las ciencias naturales y tiende a inclinar el apoyo del público a la ciencia a favor de los campos o métodos científicos que tengan muchos aparatitos o se lleven a cabo en espesas junglas o en altas montañas.

Reacciones de la prensa ante el Asunto Némesis

Cuando la teoría de Némesis apareció a finales de 1983, los periodistas ya estaban familiarizados con la idea de una extinción catastrófica de los dinosaurios a causa de un impacto de cometa o asteroide. Los dinosaurios tienen un atractivo eterno, claro está, y los aspectos catas-

tróficos de la teoría de Alvarez los hacían aún más atrayentes. Con la «estrella de la muerte», la prensa se lanzó de verdad.

Voy a tratar aquí únicamente unos cuantos puntos relevantes para dar una idea. A raíz de la excelente crónica de George Alexander publicada en el *Los Angeles Times* (4 de septiembre de 1983), fueron apareciendo crónicas en otros sitios cada vez con más frecuencia. John Noble Wilford, del *New York Times*, escribió el 2 de diciembre sobre la extinción periódica y Némesis, y en los meses siguientes una gran parte de los periódicos y revistas de noticias más importantes del mundo se ocuparon de la historia. Entre éstos se incluían los principales diarios americanos además de *Newsweek*, *Maclean's* (Canadá), *Recherche* (Francia), *Die Zeit y Frankfurter Rundschau* (Alemania), el *Canberra Times* (Australia), *India Today*, *China Daily y Panorama* (Italia). Hasta apareció un artículo completo en el *Economist*, y por fin la noticia llegó a *Reader's Digest* con una reimpresión de un artículo que Rich Muller había escrito para el *New York Times* Magazine. Curiosamente, *Time* no se ocupó de la historia en absoluto hasta su reportaje del 6 de mayo de 1985.

Hasta apareció un artículo estupendo de Ellen Goodman, publicado a la vez en varios sitios, con el título de «Musings of a Dinosaur Groupie («Reflexiones de una seguidora de los dinosaurios»). Aunque se sale mucho de su esfera habitual, el ensayo de Goodman es a la vez divertido y penetrante. Es tan bueno, de hecho, que merece algo más que una simple mención. Decía (en parte):

> ... el año pasado, dos científicos de la Universidad de Chicago comunicaron que... han ocurrido desastres como un mecanismo de relojería cósmica cada 26 millones de años durante los últimos 250 millones de años, eliminando enormes cantidades de formas de vida. Los dinosaurios fueron tan sólo las víctimas más grandes y memorables.
>
> Ahora bien, cuando contemplo la evolución de estas teorías, me pregunto si cada época tiene la historia de los dinosaurios que se merece.
>
> ... los científicos son... parte de su cultura, de su época. En un momento u otro están abiertos a una cierta línea de preguntas, a una línea de investigación que habría sido improbable anteriormente.
>
> Los científicos del siglo XIX —una época plena de fe en el progreso— veían la evolución como parte del plan del planeta para la automejora. Los enérgicos individualistas de ese siglo culpaban a las víctimas de su propio fracaso. Los que vivían en una economía competitiva valoraban la competencia «natural» de las especies. Ganaba el mejor.
>
> Las últimas teorías puede que reflejen nuestra propia visión contemporánea del mundo. Sin duda, ahora estamos mas sensibilizados con respecto a la catástrofe cósmica, al accidente. Sin duda, somos más conscientes del destino común de toda la especie...
>
> En ese sentido, la última teoría sobre los dinosaurios encaja con nosotros con inquietante perfección. «Nuestros» dinosaurios murieron juntos en una especie de invierno meteorítico, víctimas de una catástrofe global. Como humanos, nosotros tememos un destino común parecido[1].

El artículo de Goodman plantea unas cuestiones importantísimas sobre cómo funciona la ciencia, cuestiones sobre las que me extenderé en el capítulo dedicado a los sistemas de fe dentro de la ciencia.

Hubo también divertidas derivaciones de la historia principal, como la vez en que una fotografía de Jack y mía apareció en la sección llamada «Page 10» («Pági-

1. © 1984. The Boston Globe Newspaper Company/Washington Post Writers Group, reimpreso con permiso.

na 10») del *Sun-Times* de Chicago. Compartíamos la sección con Richard Pryor, John Hinckley, Jr., el hermano de Tennessee Williams y la fotografía de una aficionada al hockey no identificada tomada en el momento en que se descubría el pecho para distraer a los Edmondton Oilers en un partido contra su equipo, los Chicago Black Hawks. En otra ocasión, Ian Warden, del *Canberra Times,* me describió como «en parte Henry Kissinger y en parte Ronnie Corbett».

Pero ¿cómo se ocupó de la historia la prensa popular en general? Había unas cuantas cosas en común. Se daba importancia a los dinosaurios, por supuesto, normalmente con dibujos de dinosaurios conocidos y a menudo con caricaturas de éstos golpeados en la cabeza por grandes rocas que caían del cielo. Había algunos diagramas bien hechos que mostraban a la Tierra en relación con la Nube Oort y la órbita de Némesis. Y había varios cuadros de la escala temporal geológica, con los principales episodios de extinción señalados con dibujos de animales que se extinguieron. Sin embargo, esto creaba ciertas dificultades, porque, salvo en el caso de los dinosaurios, casi todos los organismos extintos son desconocidos para el gran público.

Casi todas las crónicas señalaban la relación con el trabajo anterior del grupo de Berkeley sobre las extinciones del cretáceo, y como resultado se hablaba del iridio y de otros indicadores del impacto de un gran volumen. Prácticamente todos los periodistas intentaron cotejar la historia con otros científicos que no fuéramos ni Jack, ni yo, ni la gente de Berkeley. Esto casi siempre se traducía en una o dos citas de científicos que se mostraban escépticos. Por ejemplo, el primer artículo sobre el tema de John Noble Wilford citaba a Norman Newell, paleontólogo del American Museum of Natural History (Museo Americano de Historia Natural), diciendo que

Page 10

By Maria Paul, Ray Hanania, Lynn Sweet and Robert Feder

The end is coming—but not to worry

The discovery by University of Chicago paleontologists **David Raup and J. John Sepkoski Jr.** at first sounds like a vaudeville joke: The bad news is: The end is coming. The good news is: It's 13 million years away.

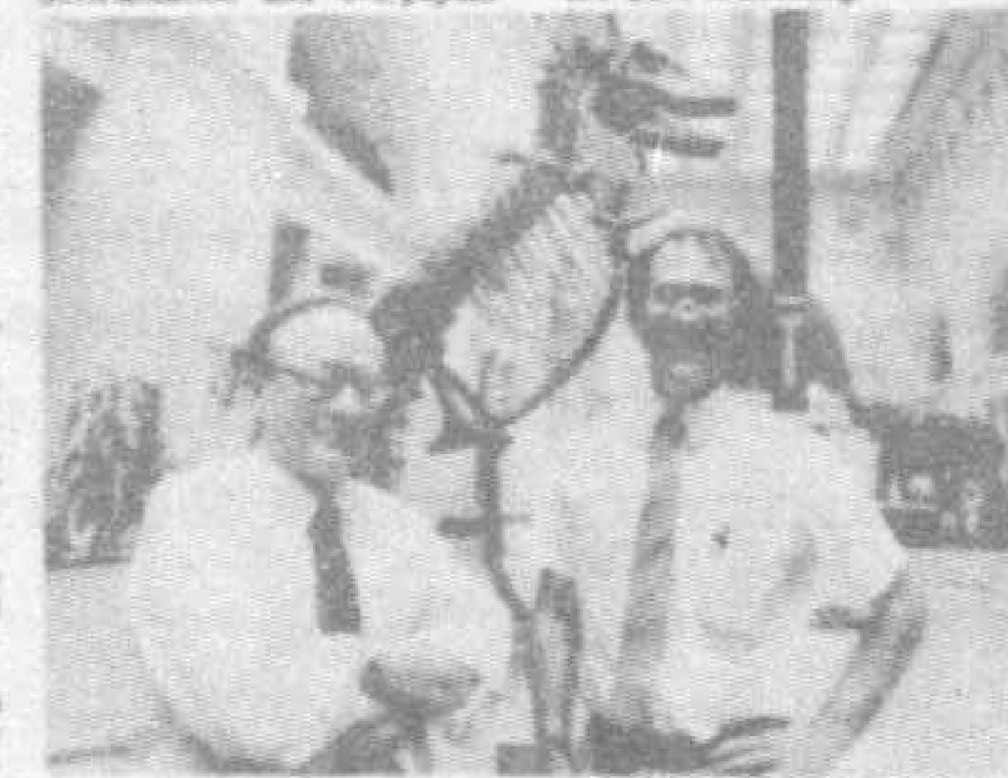
The doc from Hyde Park has been thrust from the obscurity of scientific circles into the limelight via recent issues of Time and the New York Times magazine. That's because of their role in a new explanation of why dinosaurs are extinct—and why human beings ultimately may suffer the same fate.

"We always thought of the dinosaur as dumb and deserving to be extinct," said Raup. Not true.

Dinosaurs, it turns out, were merely victims of circumstances. As Raup, 52, and Sepkoski, 36, were surprised to find, certain life-forms are subject to mass extinction, and this happens roughly every 26 million years. A new life-form then arises. This caused quite a stir among other scientists to figure out why.

The new theory: Periodically, a curtain of comets covers the sky for thousands of years, preventing sunlight from reaching Earth for extended periods. Life is wiped out.

But for Sepkoski, who gardens and makes furniture between research and teaching, short-term problems are of greater concern. He cautions, "I think we have to be more concerned with the immediate dangers from our own perversions, nuclear war, overindustrialization and overpopulation. ..." Raup figures that new technology eventually will divert any killer comets heading our way. And when he sails out of Jackson Park harbor on summer evenings, he says, his attention is on his wine and cheese, not on the stars. Notes the scientist, "It's more interesting."



Paleontologists David Raup (left) and J. John Sepkoski Jr. know the end is coming—in 13 million years.

Jack Sepkoski y yo aparecemos en la sección «Page 10» («Página 10») del *Chicago Sun-Times,* propiedad de Murdoch. Adviértase la típica inclusión de nuestra edad, vecindario y pasatiempos. Aunque la información es razonablemente correcta, aparecen los inevitables errores, tales como decir que son los propios cometas los que bloquean la luz del Sol en una extinción en masa. Compartíamos este artículo en concreto con Richard Pryor, John Hinckley, Jr., el hermano de Tennessee Williams y una aficionada al hockey con el pecho al aire. (© News Group Chicago, Inc., 1985. Reimpreso con permiso del *Sun-Times* de Chicago.)

la extinción periódica podía ser «un montaje estadístico que muestra un orden o una pauta donde en realidad no existe ninguno». Esta opinión debería haber pesado mucho, porque Newell, uno de nuestros paleontólogos más respetados, ha realizado de los mejores trabajos sobre la extinción en masa. Pero era típico que tales citas se incluyeran en artículos que por lo demás apoyaban el caso. Dudo que causaran mucha impresión en el público lector. En otras palabras, la prensa popular apoyaba la periodicidad en la extinción y sus interpretaciones extraterrestres.

Varias revistas importantes de ciencias publicaron crónicas más completas de la historia de Némesis. *Discover* dedicó una gran parte de su número de mayo de 1984 a una serie de artículos en tres partes. Una repasaba la periodicidad de la extinción con bastante detalle, otra describía y analizaba las diversas interpretaciones astrofísicas, y la tercera trataba del interesante tema de las posibles medidas para defender la Tierra de una lluvia de cometas y asteroides. Esta parte terminaba con las siguientes palabras de Rich Muller:

> Aun cuando la próxima lluvia de cometas se produjera dentro de un par de años, ahora tenemos la tecnología para hacerle frente. Somos la primera especie que posee esta capacidad.

En enero de 1985, *Science Digest* publicó una larga sección sobre lo que consideraba las «Stories of the year» («Historias del año») de 1984. Se afirmaba que «la historia astronómica del año, tal vez de la década, fue creada por geólogos y paleontólolgos». No puedo evitar sentirme un poco avergonzado por esto, porque 1984 fue un buen año para la astronomía sin ninguna ayuda de los geólogos y los paleontólogos.

Cambia la marea

A medida que avanzaba 1985, el tono de las crónicas adquirió un carácter muy distinto. Las nuevas teorías pasaron a segundo plano y la controversia ocupó un lugar destacado. Para entonces, la comunidad científica había examinado a fondo la periodicidad y las diversas explicaciones astrofísicas y se estaban desarrollando argumentos en contra. A mucha agente no le convencía el análisis estadístico de Raup y Sepkoski. Además, las dos interpretaciones extraterrestres principales, la estrella compañera y nuestra posición en la Galaxia, estaban siendo objeto de críticas. Se discutía acaloradamente la supuesta periodicidad en las edades de los cráteres de impacto. Las declaraciones citadas de prominentes paleontólogos, geólogos y astrónomos se hacían menos cautas y más estrepitosas.

A principios de 1985 se inició una secuencia de hechos especialmente significativa. En enero, Scott Tremaine, del MIT, participó en una sesión especial dedicada a Némesis y a problemas afines en un gran congreso de astrónomos celebrado en Tucson. Entre otras cosas, expuso el trabajo realizado con una estudiante graduada, Julie Heisler, indicando que desde el punto de vista estadístico la extinción periódica no pisaba terreno firme. Richard Kerr, de *Science*, describió entonces el trabajo de Tremaine en un artículo titulado «Periodic Extinctions and Impacts Challenged» («Desafío a las extinciones e impactos periódicos»). El artículo de Kerr causó gran impacto de por sí. Muchos lectores llegaron a la precipitada conclusión de que el desafío abarcaba al impacto del K-T del grupo de Alvarez además de a la periodicidad. Dick Kerr no comunicaba tal mensaje: su título contenía una desafortunada ambigüedad.

Lo más importante es que el artículo de Kerr casi con

toda seguridad provocó el primer editorial del *New York Times* sobre el tema (2 de abril de 1985). El editorial terminaba así:

> Con un examen más atento, la supuesta pauta repetida de la extinción en masa se ha desvanecido. Los dinosaurios y otras especies desaparecidas no murieron todos en un día: algunos estaban en decadencia desde antes del final del cretáceo. La delgada capa de iridio que se ha encontrado en muchos estratos geológicos que datan de hace 65 millones de años podría en efecto provenir de un meteorito, como sugieren los Alvarez, pero se sabe que las erupciones de los volcanes también son fuentes de iridio.
>
> Los acontecimientos terrestres, como la actividad volcánica o los cambios del clima o del nivel del mar, son las causas más inmediatas y posibles de las extinciones en masa. Los astrónomos deberían dejar a los astrólogos la tarea de buscar las causas de los acontecimientos terrenales en las estrellas.

Estas declaraciones son tan extraordinarias que varios de mis colegas insinuaron que el editorial había estado programado para el 1 de abril, pero se saltó un día *.

Advertirán ustedes que el editorial del *Times* ataca al propio impacto del K-T además de a la periodicidad, y al hacerlo saca a relucir una serie de argumentos estereotipados, incluyendo la alternancia volcánica y el hecho de que los dinosaurios llevaban ya un tiempo en decadencia antes del final. Lo que resulta más sorprendente, ofensivo en realidad, es la frase final sobre la tontería de los astrónomos que tratan de encontrar las causas «de los acontecimientos terrenales en las estrellas». Dice, de hecho, que todo el mundo sabe que la Tierra no puede ser influida por su entorno cósmico y sólo los

* El día 1 de abril equivale, en los países anglosajones, a nuestro Día de los Inocentes. (N. de la T.)

astrólogos podrían ser tan infantiles como para hacer el intento. Esto, por desgracia, refleja la postura de muchos de mis colegas más lyellianos. Me alegra decir que Walter Sullivan no tuvo nada que ver con el editorial.

El propio editorial del *Times* probablemente tuvo poco efecto directo en la opinión de la comunidad científica. Su tono anti-intelectual era demasiado evidente. Pero sí que movilizó a la prensa científica y popular.

Jack Sepkoski y yo nos vimos abrumados a preguntas sobre el análisis de nuestros datos realizado por Scott

THE NEW YORK TIMES, TUESDAY, APRIL 2, 1985

Miscasting the Dinosaur's Horoscope

During the close of the Cretaceous era some 65 million years ago, all dinosaurs disappeared from the earth. Paleontologists, the students of fossil life forms, have for decades debated inconclusively the reasons for that extinction, but five years ago their game was suddenly snatched away by two brash Berkeley scientists and a crowd of astronomers.

Luis Alvarez, a physicist, and his son Walter, a geologist, contended that a meteorite had slammed into Earth raising such a storm of dust that the sun was blotted out and whole species of animals fell extinct worldwide. Stretching a provocative idea even further, other scientists claimed to discern a regular pattern in the fossil record: mass extinctions every 26 million years.

The notion of regular extinctions got astronomers excited because the deus ex machina required to make giant meteorites crash into earth like clockwork every 26 million years clearly lay in their province. Some posit that an unseen companion of the Sun, christened Nemesis, shakes loose comets each time its orbit passes near a comet cloud. Others contend that the Sun, as it bobs up and down through the plane of the galaxy, is buffeted by comets or dust clouds.

These are rich hypotheses. Why, then, without any further evidence, do they seem so unsatisfying? Perhaps because complex events seldom have simple explanations. Invoking regular squads of meteorites to dispose of the dinosaurs and other vanished species is only to exchange one mystery for another.

On closer scrutiny, the alleged repeating pattern of mass extinctions has faded. The dinosaurs and other vanished species didn't all turn feet up in a day; some were in decline before the end of the Cretaceous. The thin layer of iridium that has been found in many geological strata dating from 65 million years ago could indeed have come from a meteorite, as the Alvarezes suggest, but eruptions of volcanos are now known to be sources of iridium too.

Terrestrial events, like volcanic activity or changes in climate or sea level, are the most immediate possible causes of mass extinctions. Astronomers should leave to astrologers the task of seeking the cause of earthly events in the stars.

El primer editorial del *New York Times* que intentaba desacreditar la extinción causada por impacto, la periodicidad en la extinción y Némesis. El editorial termina con la ya famosa afirmación de que esta investigación debería dejarse en manos de los astrólogos. Para muchos observadores; el editorial habría estado mejor programado para el día 1 de abril que para el día 2. (*Copyright* © 1985 por la New York Times Company. Reimpreso con permiso.)

Tremaine, que había provocado indirectamente el editorial del *Times.* ¿Responderíamos? ¿Podríamos responder a un físico del MIT? Las cosas se complicaron un poco. El análisis de Tremaine era técnicamente hablando un rumor, porque no existía en el sentido convencional de una publicación científica. Hay que decir que nos envió una copia del manuscrito poco antes de mandarlo para su publicación en un volumen especial basado en el congreso de Tucson. Nosotros estábamos trabajando en una respuesta, pero no podíamos decir nada importante sobre ello públicamente, por temor a que nuestro propio artículo sobre el tema quedara descartado al aparecer anunciado previamente en la prensa. Además, no teníamos nada que refutar hasta que el artículo de Tremaine hubiera sido reseñado, revisado y publicado por fin. A finales de 1985, un año después del ataque estadístico de Tremaine, su artículo estaba aún por publicar.

Básicamente, el análisis de Tremaine era excelente. Había descubierto un problema que nosotros conocíamos y habíamos intentado tratar en nuestro artículo de *PNAS.* Pero el enfoque de Tremaine, aunque era mucho más elegante, por desgracia contenía un importante error matemático que provenía de su falta de familiaridad con los datos paleontológicos. Mientras escribo esto, Jack y yo tenemos un manuscrito sobre el tema en prensa con *Science* y no debería hablar más de ello aquí.

Toni Hoffman

A finales de la primavera de 1985 estalló una bomba. Antoni Hoffman, un paleontólogo polaco que trabaja en el Lamont Geological Observatory (Observatorio Geológico Lamont) de Columbia, publicó una detalladísima crítica de la periodicidad de la extinción en *Nature.* John

Maddox, redactor jefe de *Nature,* precedía el artículo de Hoffman con un laudatorio artículo de «Noticias y Comentarios». Maddox decía, de hecho, que la reciente historia de amor con el catastrofismo había muerto.

Las críticas de Hoffman, que llevaban comentándose desde hacía un tiempo, ya se habían publicado en gran parte en otro sitio. Aun así, la fuerza de publicar en *Nature* unida al apoyo de John Maddox tuvo un enorme efecto en la comunidad científica. Sospecho que pocas personas leyeron realmente el artículo de Hoffman. El comentario de Maddox era suficiente para la atareada gente de otros campos de la ciencia. Si yo lo hubiera estado viendo desde fuera, mi reacción habría sido la misma. ¿Qué hacer? Una vez más, el problema era tratar de evitar responder en la prensa. Tanto Jack como yo sostuvimos una serie de conversaciones muy difíciles con personas de la prensa científica que se sentían obligadas a seguir el «acontecimiento». Querían nuestras reacciones. Caminábamos sobre la cuerda floja intentando convencer a los reporteros de que la historia daba para mucho, pero sin revelar nada de lo esencial de nuestros argumentos. Con los amigos, no nos reprimíamos tanto, ni mucho menos.

Roger Lewin, de *Science,* escribió, de su propia cosecha como contrapeso, un mágnifico artículo, titulado «Catastrophism Not Yet Dead» («El catastrofismo aún no ha muerto». Basado en gran parte en sus propios conocimientos científicos, Roger presentaba unos cuantos argumentos en contra de Hoffman, y en general indicaba que era demasiado pronto para escribir las esquelas de la extinción periódica y Némesis. Terminaba así: «Bien puede que haya que abandonar el nuevo catastrofismo, pero todavía no.»

El artículo de Hoffman provocó otro editorial del *New York Times,* éste titulado» Nemesis of Nemesis («Né-

mesis de Némesis»). Era un artículo más moderado, dedicado sobre todo a la tesis de Hoffman de que Némesis y la periodicidad estaban acabadas. Como lo expresaba el *Times*, «puede que la base de estas teorías se haya convertido en polvo estadístico». El editorial concluía con otro golpe a la hipótesis de Alvarez:

Si ese análisis se sostiene, expiran todos los candidatos de las extinciones periódicas. Puede que un meteorito fortuito se llevara por delante a los dinosaurios. Pero hasta que no se descubra el lugar del impacto, más vale no descartar a los sospechosos terrestres, como el cambio del clima.

Dar importancia al cráter perdido es un ataque muy pobre. Dada la alta probabilidad de que un cráter de 65 millones de años hubiera desaparecido a causa de la substracción del lecho oceánico o a causa de la erosión normal, la falta de un cráter no reviste mayor importancia. Steve Gould acudió a nuestro rescate con un ensayo en *Discover* (octubre de 1985) titulado «All the News That's Fit to Print and Some Opinions That Aren't» («Todas las noticias que conviene publicar y algunas opiniones que no»). Demostraba con mucha elegancia que Toni Hoffman no defendía un caso convincente. Y luego, Steve la emprendía contra los dos editoriales del *New York Times* y terminaba con dos estupendas parodias del editorial del 2 de abril de 1985. Una de ellas fingía estar sacada de un editorial del *Osservatore Romano* del 22 de junio de 1663 y decía lo siguiente:

Ahora que el Signor Galileo, si bien con cierto estímulo, ha renunciado a su herética creencia en el movimiento de la tierra, quizás los estudiosos de la física vuelvan a los problemas prácticos de los armamentos y la navegación y dejen la solución de los problemas cosmológicos a los doctos en los infalibles textos sagrados.

En los meses que han pasado desde el segundo editorial del *Times*, el ritmo del ataque y el contraataque se ha hecho casi frenético. Apenas pasa una semana sin que un nuevo artículo publicado en *Science* o en *Nature* exponga un nuevo argumento o línea de razonamiento. Los astrofísicos han analizado la idea original del plano galáctico desde varios puntos de vista nuevos. Han aparecido varios estudios nuevos dando detalles sobre la extinción en partes específicas del registro de fósiles. Rich Muller sigue observando el cielo en busca de Némesis. La historia del hollín del grupo de Anders probablemente volverá a despertar el interés, en especial por lo que implica con respecto al invierno nuclear. La prensa reacciona ante muchos de los nuevos planteamientos según van llegando, con la esperanza, creo yo, de obtener por fin una respuesta segura.

La prensa: ¿buena o mala influencia?

Al final es difícil decir si la prensa, popular o científica, contribuye al progreso de la ciencia o si realiza una buena tarea de información del gran público.

Por una parte, el progreso en la investigación ha aumentado gracias al rápido trasvase de información entre disciplinas científicas que ha logrado el buen periodismo. Y se ha ahorrado mucho tiempo. El mejor ejemplo en cuanto a este punto dentro del Asunto Némesis son las crónicas iniciales sobre la ponencia de Jack en Flagstaff a finales de 1983 aparecidas en *Science*, *Science News* y *Los Angeles Times*. Para los científicos atareados, el reportaje o comentario de una noticia en una publicación científica puede ser la única manera de averiguar qué está ocurriendo en otros campos.

Por otra parte, la prensa fomenta muchas ideas falsas

y da origen a numerosos errores. Hemos visto una serie de ejemplos. Un editor o un redactor tiene que tomar decisiones rápidas sobre los nuevos desarrollos de la ciencia, sin la ayuda de una comprobación y evaluación a fondo. En total, creo que han hecho un trabajo extraordinariamente bueno, pero se han cometido errores y probablemente se seguirán cometiendo. Pensándolo bien, los resultados positivos probablemente superen a los errores. Y sin duda es bueno para el ego que el artículo de uno vaya introducido por un editorial que alaba el trabajo. Esto me ha ocurrido a mí, con tanta frecuencia como para pasar por alto unos cuantos editoriales desagradables.

Si la prensa tiene un problema sistémico, éste es el deseo de ofrecer la respuesta definitiva en cada artículo. No hay duda de que en general hay nueva información y, en un mundo ideal, esta nueva información pone las cosas en claro: las conclusiones se sostendrán indefinidamente. Y la mayoría de las crónicas se escriben desde este punto de vista. Pero en el caso de Némesis, como en tantas situaciones dentro y fuera de la ciencia, la información nueva es efímera y a menudo errónea. Cuando hay un tema discutible, el viento cambia de dirección continuamente. Gracias al deseo periodístico de ofrecer la última palabra, el lector se ve traído y llevado de un artículo a otro. Reina la confusión. Puede que el periodismo se mueva a un ritmo muy por encima de la capacidad de la investigación científica para seguirlo. Será una ayuda cuando la prensa reconozca este problema y se invente una forma de informar sobre los nuevos avances renunciando al mismo tiempo a las respuestas definitivas.

Muchos han afirmado que no es tarea de los periódicos escribir editoriales sobre asuntos puramente científicos. Algunos dicen que los editorialistas deberían dejar

los asuntos de la ciencia en manos de los científicos. Yo no estoy de acuerdo. Los temas científicos tienen interés público e importancia social. No hay duda de que en la mayoría de las juntas directivas de los principales periódicos no hay auténticos científicos, pero tampoco son expertos en ciencia política, epidemiología y casi todos los demás campos técnicos. Si les negamos el derecho a opinar sobre asuntos científicos, también debemos descartar el SIDA y las teorías del sistema tributario.

Capítulo 11
Hacia el campo magnético de la Tierra

Lo que ahora viene es un breve chiste, una derivación del Asunto Némesis que puede que tenga o no importancia a la larga. Todavía es demasiado pronto para saberlo. Pero la historia es una forma útil de describir algunos aspectos interesantes del proceso de la investigación y presenta algunos elementos raros y unas cuantas sorpresas. Además, es un aspecto del Asunto Némesis que consumió gran parte de mis energías durante un año más o menos.

Inversiones magnéticas

Para la mayoría de nosotros, el campo magnético de la Tierra es poco más que algo útil para la navegación. No necesitamos el campo magnético muy a menudo. En cualquier día razonablemente soleado, la posición del Sol nos hace tener una percepción intuitiva del Norte y el

Sur e incluso esto es innecesario cuando estamos en un entorno conocido. Como no tenemos la capacidad biológica de percibir un campo magnético, no lo utilizamos sin medios mecánicos. Pero para muchos organismos, la capacidad de percibir campos magnéticos es tal vez tan importante como los demás sentidos. Una amplia variedad de peces, aves e insectos llega a elaborar imanes diminutos (como parte de su metabolismo) y los emplean en conjunción con unas buenas «computadoras de a bordo» para detectar aspectos sutiles del campo magnético. Son capaces de percibir una topografía magnética tan absolutamente real como la topografía sólida tan cómoda para los seres humanos.

En otro terreno, uno de los triunfos de la geofísica moderna fue el descubrimiento de que a veces el campo magnético de la Tierra se invierte. Es decir, se pone al revés: el Norte se convierte en Sur y el Sur se convierte en Norte. Este descubrimiento se produjo porque ciertas rocas conservan un registro del campo magnético que existía en la época en que se formaron. A partir de esto, se ha elaborado una cronología geológica de los cambios de dirección e intensidad del campo de la Tierra.

Poco después de que las inversiones magnéticas fueran descubiertas (a finales de los años 50), se planteó la pregunta lógica: ¿Cómo sería el medio durante una inversión magnética? ¿Habría consecuencias biológicas causadas por la intensidad de la caída a cero del campo durante la inversión? ¿Podría provocar esto una extinción en masa? A estas preguntas les siguió un estudio bastante fallido. Cuando se encontraron tan sólo unas pocas inversiones del campo magnético, había casos en que parecía haber una íntima asociación entre éstas y las épocas de extinción. Pero esto desapareció al descubrise más inversiones.

No había ninguna razón convincente para esperar que

las inversiones causaran importantes efectos biológicos. Probablemente, el uso de campos magnéticos en la navegación no es importante para la mayoría de las especies. Por otra parte, si durante un tiempo la Tierra no tiene campo magnético, el efecto protector de los cinturones Van Allen se perderá y los organismos quedarán sometidos a unos niveles algo mayores de radiación cósmica, por lo que pueden aumentar las proporciones de mutación genética. Pero pronto se demostró que este efecto sería trivial desde el punto de vista biológico, y más o menos se abandonó el asunto.

Pese a la falta de porvenir, la idea de que exista una conexión entre las inversiones y la extinción ha estado rondando la mente de muchas personas. Sabemos poquísimo sobre los efectos fisiológicos de los campos magnéticos. Se han hecho muy pocos experimentos con animales de laboratorio viviendo sin campo magnético. Es más, aunque los geofísicos han hecho un trabajo espléndido de descripción y documentación de la historia de las inversiones magnéticas a través del tiempo geológico, poca cosa se sabe con seguridad sobre cómo y por qué el campo cambia el Norte por el Sur. ¿Podría el impacto de un gran volumen sacudir la Tierra lo suficiente como para invertir un campo magnético delicadamente estable? Esto se ha sugerido un par de veces en los libros de geofísica, pero no se ha llegado a nada definitivo.

Una excursión de estudios

Hacia el verano de 1984 había quedado claro que nuestro análisis de la extinción periódica estaba básicamente limitado por los poderes de la deducción estadística. Confiábamos en nuestros resultados, pero necesitábamos una corroboración independiente. Era importante averiguar

Hipótesis.

si el argumento de la extinción tenía valor de predicción en el sentido de estar relacionado con otras señales dentro de la historia terrestre que pudieran reaccionar ante las mismas presiones. Mucha gente estaba estudiando los cráteres de impacto y analizando rocas en busca de señales químicas adicionales. Nos dispusimos a buscar otros signos esperanzadores en el registro. Decidí estudiar el registro de las inversiones magnéticas. ¿Era también periódico y, en ese caso, coincidía esa periodicidad con la de la extinción?

No me correspondía a mí meterme en geofísica (a pesar de ser director de un departamento llamado Ciencias Geofísicas). Yo no sé más que aspectos superficiales sobre los campos magnéticos. Corría un riesgo evidente de equivocarme. Decidí arriesgarme. Como se verá, todavía no está claro si la decisión fue acertada.

Al contrario que el registro paleontológico, el registro de las inversiones es bastante claro, al menos en lo que respecta a los últimos 165 millones de años de tiempo geológico. En este período se han descubierto unas 300 inversiones completas, casi todas bien fechadas. Hay algunas tendencias muy a largo plazo en el número de inversiones por millones de años, lo cual se conoce y se acepta desde hace mucho, aunque no se pueda explicar bien. Sin embargo, lo que a mí me interesaba era la estructura sutil de la pauta temporal: variaciones menores superpuestas a los cambios más amplios.

Me animé al encontrar un artículo reciente que defendía la periodicidad en la serie de inversiones a través del tiempo. Era un estudio de dos geofísicos hindúes, J. G. Negi y R. K. Tiwari, que llegaba a la conclusión de que existe una periodicidad de 32 millones de años en los datos magnéticos. Sus métodos no permitían asegurar si los momentos de actividad de inversión se producían al mismo tiempo que las extinciones. Más adelante, al avan-

zar mi trabajo, encontré otro artículo: un grupo francés, encabezado por A. Mazaud, afirmaba que existía una periodicidad de 15 millones de años situada en el tiempo de tal manera que uno de cada dos momentos de actividad era un poco más fuerte y se producía aproximadamente en una de nuestras extinciones. ¡Muy tentador!

Por otra parte, otros geofísicos habían estudiado el problema a lo largo de los años. Todos estaban de acuerdo en que la estructura sutil del registro de las inversiones sólo mostraba fluctuaciones aleatorias en el número de inversiones por período de tiempo. Aunque esto no demuestra que sea casualidad, deja la tarea de la demostración a alguien que diga que la pauta no es casual. De hecho, la casualidad era el conocimiento convencional establecido dentro de la geofísica y puede que aún lo sea. Pero el conocimiento convencional suele ser erróneo y los resultados de los hindúes y los franceses daban ciertas esperanzas.

Para resumir, hice unos elaborados análisis estadísticos del registro magnético, empleando básicamente las mismas técnicas que Jack y yo habíamos utilizado para los datos de la extinción. Descubrí una impresionante periodicidad de 30 millones de años que coincidía bastante bien con la periodicidad de la extinción. Digo «bastante bien» porque ningún ciclo de 30 millones de años puede permanecer sincronizado por mucho tiempo con un ciclo de 26 millones de años. Los episodios de extinción más recientes se produjeron 11, 38 y 65 millones de años a.p. y sus equivalentes en el registro magnético son de hace 10, 40 y 70 millones de años. Hay suficiente incertidumbre en el análisis estadístico como para que la diferencia pueda no importar mucho. Recuerden que Rampino y Stothers, de la NASA, obtuvieron una periodicidad de 30 millones de años a partir de los datos de la extinción de Jack y míos, y el grupo de Berkeley descubrió una periodicidad de 28 millones de años en las edades de los cráteres. Todos estos estudios podrían estar diciendo lo mismo.

Espero que se den ustedes cuenta de las posibilidades que hay aquí de que la investigación esté «guiada» por las expectativas. Ya he mencionado ese cínico dicho: «No lo habría visto si no hubiera sabido que estaba ahí.» Los peligros de la parcialidad inconsciente están siempre presentes. Ningún método de comprobación estadística protege a la ciencia contra las ideas preconcebidas. Esta es con diferencia la parte más desalentadora de la investigación.

Revisión a cargo de colegas profesionales

Los resultados estadísticos eran bastante firmes y las posibles conexiones con la extinción biológica resultaban tan interesantes que redacté el trabajo en forma de breve artículo para *Nature*. En este caso, la revisión a cargo de colegas profesionales sería una buena prueba, aunque en gran parte dependía de la selección de revisores por parte del redactor jefe.

El artículo fue enviado a *Nature* en septiembre de 1984. Al mismo tiempo, envié copias a una docena de personas para intercambiar opiniones. Se podría decir que debería haber hecho este intercambio privado antes de mandar el artículo, pero estaba impaciente. *Nature* terminó el primer proceso de revisión a mediados de noviembre. Se me informó de que las reseñas no se ponían de acuerdo: una recomendaba publicarlo y la otra insistía en rechazarlo. Cuando ocurre esto, el redactor jefe de la publicación se encuentra con un problema y varias opciones. Con frecuencia, se envía el manuscrito, con las reseñas, a un tercer revisor con la esperanza de resolver el tema.

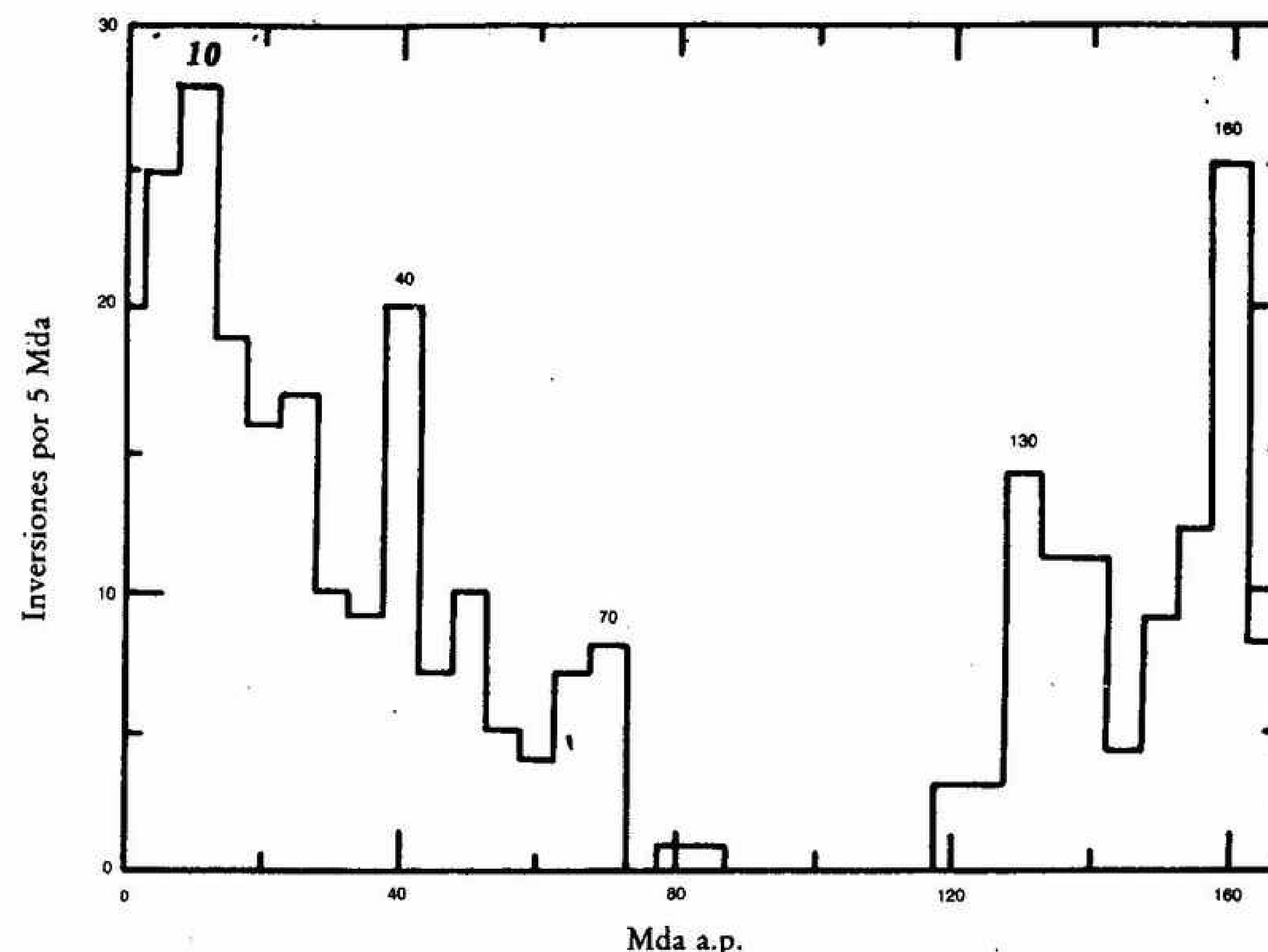
O el redactor jefe puede decidir él mismo en un sentido u otro.

En este caso, *Nature* eligió una tercera alternativa: no aceptó ni rechazó el artículo, pero me lo devolvió (con las reseñas) para que lo retocara y lo volviera a enviar. Al tiempo, se me invitaba a dar los nombres de seis revisores más.

No es infrecuente que los redactores pidan a los autores que indiquen los nombres de varias personas a quienes se les podría enviar el manuscrito para su revisión. En general, el proceso es secreto y normalmente el autor de un artículo nunca sabe quién revisó el trabajo. Pero a los redactores les resultan útiles las sugerencias de los autores y a menudo eligen a una o más personas de la lista proporcionada. Como es natural, el autor lo pasa fatal al hacer la lista. Puede ser un momento desquiciante si se toma demasiado en serio.

En este caso, yo conocía la identidad de los dos revisores. Uno, un geofísico de Australia, había firmado su reseña y el redactor jefe había decidido no cortar el nombre. El otro es un importante geofísico de California a quien yo ya había enviado una copia del artículo. Contestó diciendo que también había recibido el artículo por parte de *Nature*. El revisor de California era uno de los que habían estudiado el problema unos años antes y había llegado a la conclusión de que las pequeñas variaciones del registro magnético eran aleatorias. Su reseña era muy positiva y recomendaba la publicación. Sin embargo, dejaba claro que no estaba muy contento con mis resultados, aunque no encontraba nada malo en los métodos.

Al revisor australiano el artículo le parecía de todo punto inaceptable y decía que contenía una «grave falacia» y que «las conclusiones a las que se llega en el artículo no se justifican». La reseña de cuatro páginas era



Periodicidad en el registro de inversiones del campo magnético de la Tierra, según mi artículo de 1985 para *Nature:* El histograma muestra el número de inversiones completas en intervalos de 5 millones de años (Mda) para los últimos 165 millones de años. La tendencia general (de derecha a izquierda) muestra un descenso en el ritmo de la inversión, culminando en un intervalo de unos 120 Mda a.p. a unos 80 Mda a.p. en que no hay ninguna inversión (la zona tranquila del cretáceo), y una reanudación de la actividad de la inversión con un aumento hasta el presente (izquierda). Mi artículo *Nature* afirmaba que existe una periodicidad regular de 30 millones de años superpuesta a las tendencias más amplias, con momentos de actividad centrados en 10, 40, 70, 130 y 160 Mda a. p. (Según D. M. Raup, 1985, *Nature, 314:341-343, fig.1.)*

durísima. Al final, las críticas del revisor fueron muy útiles. Las empleé para hacer importantes modificaciones de técnica y presentación. El proceso de revisión a cargo de colegas profesionales estaba funcionando como debería, pero es algo que pocas veces sucede.

Tras revisar el manuscrito, lo volví a enviar a *Nature* junto con los seis nombres solicitados de posibles revi-

sores. En mi carta de contestación, instaba al redactor jefe a que no probara de nuevo con el australiano, citando varios párrafos de la reseña negativa para demostrar que la mentalidad del australiano destruía su objetividad. ¡*Nature* volvió a enviar inmediatamente el manuscrito modificado al revisor australiano! Además, se lo mandaron a una de las personas de mi lista: Timothy Lutz, de la Universidad de Pennsylvania. Aunque yo no conocía a Lutz personalmente, era un joven geofísico muy brillante con experiencia en el análisis de series temporales.

A finales de enero de 1985, *Nature* me informó de que ambos revisores habían aprobado el artículo modificado y que me lo devolvían para que corrigiera unos detalles técnicos sin importancia antes de ponerlo en prensa. Por supuesto, yo estaba encantado. El sistema de revisión a cargo de colegas profesionales había funcionado para mejorar el trabajo, y todo el proceso había tardado menos de cinco meses. Poco sospechaba yo lo que se avecinaba.

Un mes más tarde, durante un divertido almuerzo en Canberra, el revisor australiano me dijo que todavía dudaba de mis resultados, pero que no encontraba ningún fallo en el análisis. Nos despedimos con una apuesta de cinco dólares sobre el resultado final, apuesta que aún no se ha saldado.

Lutz se opone

Nature Finales de Marzo 1985!

El artículo sobre la periodicidad de 30 millones de años se publicó a finales de marzo. Aguardé las reacciones. La prensa no prestó casi atención al artículo, pero la comunidad científica estaba ya muy acostumbrada a leer cosas sobre la periodicidad geológica, por lo que estaba seguro de que la gente apropiada estaba leyendo el artículo. Tim Lutz se había interesado por el problema

y estaba haciendo sus propios análisis adicionales. Nos conocimos en un simposio celebrado en Princeton en honor de Al Fischer y trabajamos en las estrategias para realizar nuevos estudios del registro magnético.

En su reseña original para *Nature*, Tim había propuesto algunos enfoques diferentes y yo pensé en reservarme, con la idea de que los dos podríamos colaborar en un tratamiento más completo. Después de que yo decidiera seguir solo con la publicación, Tim continuó su propio análisis.

A finales de primavera, Tim Lutz completó la extensión del análisis y envió un artículo a *Nature* con el título de «A Reappraisal of Periodicity in Magnetic Record» («Nueva valoración de la periodicidad en el registro de la inversión magnética»). Al mismo tiempo me envió una copia. *Nature* también me lo envió para que lo revisara, lo cual no es sorprendente.

El artículo de Lutz era un elegante ejercicio de erudición y demostraba con bastante eficacia que aunque la periodicidad de 30 millones de años podía existir en el registro magnético, mi artículo no lo había probado. ¿Qué hacer? En primer lugar, apliqué su enfoque general a mi versión de los datos con mis propios programas de computadora. Los resultados fueron los mismos que los suyos. No me quedaba más remedio que recomendar el manuscrito de Lutz para su publicación.

Esto planteaba un problema con respecto a la extinción periódica. Mis métodos para las inversiones magnéticas eran básicamente los mismos que Jack y yo usamos para la extinción. Si un estudio era erróneo (o por lo menos cuestionable), ¿también era erróneo el otro? Esto podía ser muy grave, dado el carácter sumamente controvertido del asunto de la extinción. Hay que recordar que en esta época el tema de la periodicidad y Némesis se estaba discutiendo acaloradamente. Lutz había

advertido el problema en su artículo, pero indicaba que los datos de la extinción se diferenciaban lo bastante como para que sus críticas no tuvieran por qué efectarlos. Por fortuna, tenía razón: al aplicar su nuevo enfoque a la extinción, la periodicidad quedaba intacta.

Retracción

Llegados a este punto, yo tenía varias opciones, como el redactor jefe de *Nature*. El artículo de Lutz se podía publicar como una refutación directa de mi artículo, en cuyo caso yo tendría derecho a responder. O el artículo de Lutz podía publicarse como un artículo independiente, en cuyo caso cualquier respuesta mía tendría que aparecer en un número posterior y Lutz tendría derecho a responder. En cualquiera de las dos situaciones, yo tendría dos objetivos: reconocer la eficacia del análisis de Lutz y proteger el análisis de la extinción para que no fuera declarado culpable por asociación.

En realidad, las cosas salieron de otra manera. Un par de charlas con Peter Gambles, redactor jefe de la oficina de *Nature* en Londres, que se había estado ocupando del caso, llevaron a la siguiente solución: el manuscrito de Lutz se publicaría como un artículo independiente introducido en el mismo número por un artículo de «Noticias y Comentarios» escrito por mí. Esta era la propuesta del doctor Gambles y yo se lo agradecí. Me daba la oportunidad de reconocer el trabajo de Lutz y al mismo tiempo «proteger» la extinción periódica. «Noticias y Comentarios» es la misma columna importante de *Nature* que John Maddox y otros habían empleado para comentar el artículo de Toni Hoffman y otros aspectos del Asunto Némesis.

Mientras escribo esto, acaba de salir el número de *Nature* con los dos artículos, así que sólo se pueden hacer conjeturas sobre cómo reaccionará la comunidad científica. No está claro en absoluto si la combinación del nuevo análisis hecho por Lutz del registro magnético y mi retracción contribuirán o perjudicarán a la causa de la extinción periódica y Némesis. Pero la trama se complicó aún más durante los meses en que se estaban realizando todos estos escritos y revisiones.

Tras enviar a Peter Gambles mi artículo de «Noticias y Comentarios», ocurrieron tres cosas:

1. Recibí otro manuscrito de parte de *Nature* para revisarlo. Escrito por dos respetados geofísicos británicos especializados en el registro de inversiones magnéticas, defendía una periodicidad de 30 millones de años en dicho registro. Lo sorprendente era que de alguna manera a los autores se les había pasado mi artículo y evidentemente no tenían ni idea de lo que yo había escrito unos meses antes para la misma publicación. Esto, añadido a los estudios originales de los hindúes y los franceses, renovó mi confianza en mis resultados. ¿Me había dado demasiada prisa en retractarme? Por desgracia, el nuevo artículo presentaba un problema técnico: la importancia estadística de los resultados no se había comprobado y *Nature* lo rechazó. Por ello, dejó de existir y seguirá sin existir hasta que se envíe y se publique una versión corregida. (De hecho, ya se ha enviado el artículo, pero todavía no ha sido aceptado ni rechazado.)

2. Mike Rampino y Dick Stothers, de la NASA, se enteraron de mi inminente retracción e hicieron todo lo posible para disuadirme. Ellos habían hecho un estudio paralelo sobre los datos magnéticos y habían obtenido los mismos resultados, pero no los publicaron, porque yo lo había hecho primero. Ahora bien, habían trabajado con el estudio de Lutz y no les resultaba convincente.

Rampino y Stothers creen que la pauta magnética es real y probablemente escribirán un artículo de «Cuestiones que Surgen» para rebatir a Lutz.

3. Rich Muller, de Berkeley, uno de los padres de Némesis, tiene un artículo en prensa que elabora el tema de los argumentos sobre la periodicidad magnética. Rich y un colega, Donald Morris, creen haber dado con un mecanismo creíble por el cual los impactos de cometas o asteroides podrían provocar inversiones del campo magnético de la Tierra. Irónicamente, el mecanismo requiere un rápido cambio del nivel del mar como parte integrante del proceso. Naturalmente, Rich tiene la esperanza de que la periodicidad magnética se sostenga. Su resumen termina con esta optimista declaración:

> El modelo puede explicar la hasta ahora misteriosa correlación entre las inversiones geomagnéticas y las extinciones en masa.

Resultados

Llegados a este punto, creo que estarán ustedes de acuerdo en que el tema de la periodicidad magnética es un caos. No sabemos si la estructura sutil del registro magnético muestra una periodicidad o no y, aunque la muestre, no sabemos si las inversiones están relacionadas con la extinción biológica o con el impacto de un gran volumen o con ambos. No sabemos qué efecto tendrá esta confusión sobre la credibilidad del trabajo original de la extinción periódica y Némesis.

Aunque esta situación es confusa, no es en absoluto atípica dentro de la investigación científica, salvo tal vez por su rápido ritmo y el gran número de personas involucradas. El proceso de llegar a una verdad, o al menos a un consenso, es a menudo un proceso complicadísimo y bastante desorganizado de retroceso y relleno. Está muy lejos del tipo de ciencia estereotipado en que un simple experimento establece un descubrimiento de una vez por todas y sin discusiones.

En realidad hay una gama de situaciones entre la solución muy sencilla, lograda rápida y limpiamente, y el tipo de caso incierto y difícil como la periodicidad magnética. Por ejemplo, muchas de las dificultades que plantean los temas de las diferencias genéticas entre razas, la epidemilogía del SIDA e incluso la relatividad de Einstein son ejemplos del lado «difícil» de la gama. El descubrimiento del código genético puede ser un ejemplo del lado «limpio» o «fácil», pero la solución elegante e irrefutable del problema del ADN estuvo precedida por muchos años frustrantes de errores y callejones sin salida.

También debo recalcar que todos los que participan en la investigación científica son personas. He pasado por alto muchos aspectos puramente personales y emocionales de la historia de la inversión magnética, pero puedo asegurar al lector que esta parte de la ciencia es importante. Quien probablemente mejor lo haya descrito es James Watson en *Double Helix (Doble hélice)*, la historia de su descubrimiento (con Francis Crick) de la estructura del ADN.

Feyerabend

Capítulo 12

Sistemas de fe dentro de la ciencia

En este capítulo quiero abundar sobre el tema de Némesis para explicar algunas cosas sobre los aspectos más sutiles de la práctica de la investigación científica, expresando mi opinión de que los científicos en activo están sujetos a muchos más prejuicios e ideas preconcebidas de lo que normalmente se piensa.

La estructura de la ciencia, con sus rígidos métodos y criterios para la comprobación de hipótesis, contribuye a organizar nuestro conocimiento (e ignorancia), y los resultados del «método científico» son probablemente más objetivos e imparciales que en la mayoría de los demás campos de investigación humana. Pero así y todo el proceso contiene fuertes elementos emocionales y sociológicos. Trataré una serie de ejemplos, incluida la historia de Némesis, para explorar este lado no objetivo de la ciencia.

Debo recalcar desde el principio que no soy un entendido profesional en la historia y la filosofía de la ciencia. Mis comentarios intentarán describir y tratar la ciencia como yo la veo y no aspirarán a enmendar la plana a estudiosos tales como Kuhn y Popper. Uno de mis objetivos principales es modificar algunos estereotipos populares sobre cómo funciona la ciencia día a día.

El método científico

Casi todos los científicos creen saber en qué se diferencia la ciencia de la filosofía, la religión y la mera conjetura. O, al menos, todos los científicos con los que he hablado creen saberlo. Pero una cosa muy distinta es descubrir exactamente en qué se diferencia la ciencia de otras formas de especulación. Para algunos, la ciencia se define por el empleo de experimentos para comprobar las predicciones de las hipótesis. Para otros, es cualquier tipo de estudio que no esté sometido a un compromiso previo con una respuesta o un sistema de fe concretos. La mayoría de los científicos afirma que la religión no es ciencia porque en la religión no hay experimentos, no se comprueban hipótesis y hay un compromiso previo con una serie de creencias. La ciencia y la fe son antitéticas. De ello se deduce que la investigación científica es objetiva porque el científico no está influido por expectativas previas y está dispuesto a dejar que las cosas salgan como quieran. Yo creo que estas afirmaciones son bastante absurdas.

Culpable hasta que se demuestre su inocencia

Todas las ciencias funcionan dentro de marcos teóricos. A éstos se les puede llamar modelos, paradigmas, hipótesis, conceptos, principios o preceptos. Sea cual sea

el nombre que reciban, proporcionan estructuras básicas para pensar sobre los problemas y para interpretar observaciones. La teoría darwiniana de la evolución es un ejemplo de tal modelo o paradigma. La teoría de Némesis es otro ejemplo, aunque a una escala muy diferente. Cada campo de la ciencia tiene una o más hipótesis de esta clase.

En casi todos los casos, los marcos teóricos son «ideados» por científicos imaginativos. Por lo general empiezan como poco más que simples intuiciones, tal vez sugeridas por los datos observables, pero no como parte necesaria de ellos. La tabla periódica de los elementos no entró a la fuerza en la química por el enorme peso de unas pruebas que no daban pie a ninguna otra interpretación.

Una vez propuesta una nueva teoría o paradigma, la comunidad científica lo examina y evalúa, siempre y cuando sea razonablemente creíble y despierte suficiente interés. A la luz de la nueva idea se evalúan observaciones o experimentos nuevos o viejos. Si encajan, la nueva idea recibe apoyo. Si no encajan, la nueva idea es rechazada. Rara vez se da un solo experimento crucial que pruebe o no pruebe una idea nueva.

Todo esto es sencillo y tiene sus equivalentes en todos los asuntos humanos. Pero hay un aspecto difícil. La nueva idea casi nunca se produce en un vacío: ya existen una o más formas distintas de interpretar o explicar los mismos fenómenos y la comunidad científica las acepta. Diríjanse a un astrónomo y pregúntenle: ¿Cómo se formó el universo y qué edad tiene? Siempre se obtendrá una respuesta, no importa cuál sea la década o el siglo en que se haga la pregunta. Pero las respuestas cambian a medida que van llegando y estableciéndose nuevas maneras de interpretar las observaciones.

La aceptación de cualquier marco teórico nuevo depende de la credibilidad y la mejora de alternativas existentes. En casos en que la elección no resulta evidente de forma inmediata, generalmente le toca a la nueva idea probar lo que expresa. Esto es muy importante. Enfrentada a una elección, la comunidad científica invariablemente se queda con el conocimiento convencional. Es más, normalmente la idea más antigua ha existido ya lo bastante como para haber hecho acopio de pruebas que la apoyan, mientras que la idea nueva rara vez tiene mucho apoyo, por lo menos al principio. No es un juego limpio.

Pese a la falta de «limpieza» hacia las ideas nuevas, la práctica tradicional de la ciencia puede hacernos mejor servicio que un método más democrático. La historia enseña que casi todas las ideas nuevas fracasan. La ciencia estaría en un estado de gran confusión la mayor parte del tiempo si todas las ideas nuevas recibieran exactamente el mismo trato.

Está claro, por tanto, que la nueva teoría es culpable hasta que se demuestre su inocencia y que la teoría ya existente es inocente hasta que se demuestre su culpabilidad. Pensemos en las palabras que cité de uno de los artículos de Bill Clemens en el Capítulo 4. Al considerar si las extinciones del cretáceo fueron causadas por un impacto de meteorito, decía:

> ... los análisis de los datos paleobiológicos indican que no es necesario un suceso así para explicar los cambios de la fauna y flora durante la transición del cretáceo al terciario.

Aquí la palabra importante es «necesario». Clemens no decía cuál de las explicaciones de la extinción es la más probable. En cambio, lo que decía era que ya tenemos explicaciones aceptables sin acudir al impacto de un meteorito. El efecto práctico es que una idea nueva ne-

cesita un apoyo realmente convincente —un eficaz contragolpe intelectual— para desplazar a la anterior.

Aunque me incomoda un poco el método que acabo de describir, es un fuerte elemento dentro de la cultura de la ciencia y puede que hasta nos haga avanzar a la larga. Pero a veces tiene el efecto de paralizar el progreso, especialmente si el conocimiento convencional dentro de un campo lleva largo tiempo establecido y su «inocencia» está apoyada por gran variedad de pruebas. La persistencia del sistema de astronomía ptolomeico, según el cual la Tierra era el centro del universo, es un ejemplo clásico. Prácticamente todas las personas educadas lo aceptaban, en parte por inercia y en parte porque funcionaba estupendamente para predecir eclipses y cosas así. Su sustitución por el sistema copernicano fue un proceso largo y difícil. Por la misma razón, la teoría de la relatividad de Einstein tuvo que soportar años de burlas por parte de sus colegas físicos.

Tal vez, lo único que salva a la ciencia del conocimiento convencional que no es válido, y que se convierte de hecho en algo permanente, es la presencia de inconformistas en cada generación: personas que persisten en desafiar al convencionalismo y en inventar nuevas ideas por pura diversión o por terquedad innata.

El Asunto Némesis ofrece muchos ejemplos del conflicto entre las teorías nuevas y las antiguas. Pero es de todo punto imposible demostrar la tendencia a lo de «culpable hasta que se demuestre su inocencia». Cuando un artículo contiene una lista de diez razones por las que las extinciones del K-T no pudieron ser provocadas por un impacto, no hay forma de saber hasta qué punto el autor está consciente o inconscientemente seleccionando o manipulando los datos. Con respecto a la propuesta original de Alvarez sobre el impacto del K-T, estoy razonablemente seguro de que el conocimiento convencional ha tenido un papel enorme. Sin este conocimiento convencional, ahora el impacto (y sus efectos biológicos) se consideraría establecido más allá de toda duda razonable.

Ganar la lotería: ¿ciencia o religión?

Un curioso incidente demuestra el gran poder del conocimiento convencional y los problemas a los que se enfrenta una idea que se considera «culpable». El caso tiene que ver con dos sistemas de fe opuestos: uno se encuentra en el terreno de la religión y el otro en el de la ciencia. Lo que se va a discutir es si las creencias religiosas son susceptibles de comprobación científica.

Hace unos años, una tal Daysi Fernández, madre de tres hijos que vivía a cargo de la asistencia social, quiso comprar boletos de la Lotería del Estado de Nueva York y (según se dice) le pidió a un muchacho que conocía, John Pando, que comprase los boletos por ella. John Pando es profundamente religioso y pensó que si rogaba la ayuda de Santa Eleggua, la señora Fernández tendría muchas más posibilidades de ganar la lotería. Según lo que cuenta John, la señora Fernández le dio cuatro dólares, con los cuales compró en su nombre la lotería. Dice que ella quedó de acuerdo en darle la mitad del premio si uno de los boletos resultaba ganador. Luego rezó.

Ganó uno de los boletos y la señora Fernández obtuvo 2.877.203,30 dólares. No lo dividió con John Pando y éste llevó el asunto a los tribunales para intentar recuperar su parte. La señora Fernández adujo que el supuesto acuerdo era ilegal o que no se podía obligar a cumplirlo por una serie de razones, incluyendo el hecho de que John Pando era menor de 18 años.

El 19 de octubre de 1984, el juez Edward J. Greenfield, del Tribunal Supremo del Condado de Nueva York, desestimó el caso. Aunque falló a favor de John Pando en casi todos los temas, incluido el problema de la edad, el juez Greenfield decidió que John no tenía nada que hacer porque era *imposible demostrar en un tribunal que «la fe y las oraciones produjeron un milagro e hicieron que la demandada ganase».*

Estoy de acuerdo con que John Pando no probó que Santa Eleggua hubiera influido sobre la lotería y por ello acepto la decisión del juez. Pero no acepto las razones de esa decisión tal y como aparecen en el fallo escrito.

El largo fallo del juez Greenfield es interesante de leer porque trata de demostrar que la religión no es una ciencia. Permítaseme citar algunos párrafos:

¿Quién va a darnos pruebas de que sus oraciones fueron eficaces y que la santa hizo que los números salieran? No es respuesta suficiente decir que rezó y que uno de los boletos que rellenó fue el ganador. Eso dejaría un hueco en la prueba, la cual debe demostrar no sólo que la ganancia siguió a la oración, sino que... la oración fue el factor causante de la ganancia.

Bajo el derecho romano, se aceptaban los testimonios divinos, las profecías, los augurios u oráculos y el poder de los sueños... Pero en aquellos días, la función de los tribunales seculares y eclesiásticos no estaba claramente separada... En esta era más prosaica y pragmática, formada por trágicas experiencias, el abismo entre el mundo temporal y el espiritual se ha hecho insalvable. La teología debe ser protegida contra la ley, así como la ley debe ser protegida contra la teología.

La condición no era que los números elegidos ganaran, sino que la santa hiciese que los números ganaran. No se puede establecer con pruebas forenses que tal cosa ocurriera. Se trata de asuntos que trascienden las pruebas: la existencia de santos, el poder de la oración y la intervención divina en los asuntos temporales.

Estos párrafos no hacen mención explícita a la ciencia, pero, como quedará claro, el juez pensaba en «ciencia» en casi todas sus referencias a «la ley». El texto de su fallo está lleno de alusiones a San Pablo, Wordsworth, San Agustín y la habitual serie de precedentes legales. Pero el mensaje está claro: las acciones de los santos no son susceptibles de comprobación. Sin embargo, el juez Greenfield sí que recalcó que:

Este tribunal no desea en modo alguno denigrar el poder de la oración, los asuntos del espíritu o las obras de la Divina Providencia...

Para mí, el momento realmente culminante del fallo del juez Greenfield se produce cuando compara el caso de la lotería con ejemplos hipotéticos de creación de lluvia —tanto por parte de hechiceros indios como por parte de la meteorología aplicada—, porque es aquí donde ataca directamente el problema de los sistemas de fe. Dice así:

Si un creador de lluvia obtiene la promesa de un grupo de granjeros de que le pagarán si hace llover, puede cobrar si... sembró nubes hiperenfriadas con yoduro de plata y un experto testifica que ésa fue la causa de la lluvia. Por otra parte, si el creador de lluvia realiza cánticos, danzas y encantamientos y llueve a las 24 horas, no puede demostrar con pruebas aceptables jurídicamente que sus actos causaron el deseado acontecimiento.

Aquí hay dos problemas evidentes. En primer lugar, el juez da por supuesto, totalmente y *a priori*, que la eficacia de los cánticos y las danzas no se puede demostrar. No se limita a decir que el poder de los cánticos y las danzas *no se ha* demostrado; más bien dice que el

poder *no se puede* comprobar. ¡Esto es ridículo! Sería muy sencillo comprobarlo con métodos corrientes de biología experimental, de la siguiente manera:

Se contrata a uno o más hechiceros indios conocidos y se hace el experimento. A los hechiceros se les podría dar zonas señaladas; otras zonas, sin hechiceros, se utilizarían como controles. Haría falta una buena cantidad de zonas con y sin hechiceros para que las diferencias casuales del microclima no afectaran a los resultados estadísticos. Se controlaría la precipitación en todas las zonas y se emplearían pruebas estadísticas corrientes para ver si en las zonas con hechiceros la precipitación había sido notablemente mayor que en las zonas donde no había hechiceros. Habría que diseñar cuidadosamente el método experimental, pero muchos campos de la ciencia son expertos en esto y el problema que nos ocupa es relativamente sencillo.

Lo que quiero decir es que la eficacia de los cánticos y las danzas es tan comprobable como cualquier proposición científica, tal como si un tratamiento médico concreto funciona o no. Al afirmar que los cánticos y las danzas no se pueden comprobar, creo que lo que en realidad dice el juez Greenfield es que él, en nombre de la ley y la sociedad, no cree que los cánticos funcionen y, por tanto, no vale la pena hacer el esfuerzo de comprobarlo. Esto se parece mucho a un compromiso con un sistema de fe, algo que para la mayoría de los científicos (y probablemente jueces) es un anatema.

Se puede decir que cientos de años de experiencia humana han demostrado que cosas tales como los cánticos y las danzas no aumentan el nivel de las precipitaciones ni tienen ningún otro efecto en la naturaleza. Y yo respondo que me gustaría ver las estadísticas. No es justo desestimar una proposición basándose en lo que se dice o en la anécdota.

El segundo problema planteado por la creación de lluvia del juez Greenfield es que sembrar las nubes con yoduro de plata puede que funcione y puede que no. Es una técnica que la meteorología aplicada ha estado probando durante años y se han realizado experimentos mucho más elaborados que el que yo he propuesto. Los resultados son equívocos. Algunos estudios muestran resultados positivos, pero en la mayoría de los casos los resultados son imposibles de distinguir de la casualidad. Un importante estudio mostraba lo que parecía ser un *descenso* de la precipitación a consecuencia de la siembra de nubes. El tema se ha discutido durante muchos años en meteorología. En un juicio del tipo descrito por el juez Greenfield sería bastante fácil llamar a «expertos» de ambos bandos. No conozco demasiado bien ese campo para entrar en detalles, pero tengo la impresión de que hay toda una gama desde los «creyentes» hasta los «no creyentes» en el tema de la siembra de nubes. ¿Dónde termina un sistema de fe y empieza la ciencia?

Permítaseme decir que no tengo razones para creer que los cánticos y las danzas produzcan lluvia, como tampoco creo que los santos influyan sobre la Lotería del Estado de Nueva York. Mi problema se refiere a la afirmación sin pruebas de que tales hipótesis no son comprobables dentro de un marco convencional de la ciencia. Yo diría que sí son comprobables. Decimos que no lo son porque ya hemos decidido que las hipótesis están mal. El conocimiento convencional es tan fuerte que a los defensores de la vertiente religiosa del tema ni siquiera se les permite hacer que se comprueben sus hipótesis.

El elemento estrafalario

La ciencia está rodeada de elementos fanáticos y estrafalarios que pueden afectar de forma extraña al progreso de la ciencia misma. Como una vez al mes, recibo un manuscrito o un libro editado privadamente de alguien que sostiene una nueva teoría o paradigma y quiere que se le haga caso. Hay muchos casos así sobre evolución, historia de la Tierra, astronomía y, supongo, todos los campos de la ciencia. Es típico que los autores no tengan preparación científica convencional y que su ocupación sea un remoto campo de la ciencia. Son médicos, ingenieros, contables y una sorprendente cantidad de gente de negocios rica e independiente. Yo creo que casi todos son personas honradas y sinceras. Casi siempre llevan trabajando veinte o treinta años reuniendo pruebas para su idea particular. La tragedia es que todos los tratados que crean son un caos imposible de información mal interpretada y errores de lógica. Hay que tener cuidado con tales descalificaciones, claro está, porque siempre es posible que el elemento estrafalario tenga razón y todos los demás estén equivocados. Pero los casos de los que hablo son muy evidentes.

A veces, una de estas ideas poco convencionales prende, por lo menos entre el público no experto. Por ejemplo, los libros de Erich von Daniken sobre visitantes del espacio exterior (*Chariots of the Gods [Carros de los dioses]* y otros). Aún más raramente aparece una persona de este tipo en un entorno erudito convencional, causando toda clase de problemas para la ciencia normal. Un ejemplo es el doctor Roy P. Mackal. Es lo que él llama un «criptozoólogo» y ha dedicado enormes cantidades de tiempo y energía en los últimos años a buscar animales vivos que se cree que están extintos desde hace mucho tiempo. En concreto, ha estado en varias expediciones a Africa Central en busca de dinosaurios vivos, de cuya existencia piensa que hay pruebas en el folclore local. La prensa, normalmente describe al doctor Mackal como un «biólogo de la Universidad de Chicago». Esto le presta cierta credibilidad. Efectivamente, es biólogo y está empleado en Chicago, pero como coordinador de Seguridad y Energía.

Todos los biólogos que conozco piensan que las ideas de Mackal sobre la posibilidad de que haya dinosaurios vivos son totalmente increíbles y se pueden presentar argumentos impresionantes para demostrar que la probabilidad de que hayan sobrevivido dinosaurios es infinitamente pequeña. Pero dada la imposibilidad de probar una negativa, no se puede decir que no haya posibilidad alguna de que todavía vivan dinosaurios en remotas partes de Africa. Yo estoy cómodo con la idea de que Mackal está equivocado, pero no lo puedo demostrar.

Otro ejemplo es Linus Pauling. Como químico premiado con el Nobel, y con una lista de logros casi sin igual, Pauling es uno de los científicos del mundo verdaderamente grandes. Pero para algunos observadores, su estudio sobre la vitamina C lo convierte en un elemento estrafalario. Se han hecho intentos de suprimir algunos de los artículos de Pauling y a algunos de sus colegas de la National Academy (Academia Nacional) les causa vergüenza ajena. Por otra parte, el trabajo sobre la vitamina C constituye una incursión en la nutrición y la medicina, donde existen firmes paradigmas que no aceptan de buen grado las ideas discordantes de un químico. Este puede ser un caso en el que un hombre brillante ve las cosas con más claridad. O puede que Pauling simplemente haya metido la pata por no estar familiarizado con los detalles de unos campos que están fuera de su dominio normal.

El elemento estrafalario es un factor perenne dentro

de la ciencia. Es odiado y temido y, como es inevitable, la ciencia se protege. Es dificilísimo que a una idea realmente radical se le dé una oportunidad, y no digamos una oportunidad justa. Y si el creador de la idea radical no posee credenciales normales, conseguir una oportunidad puede ser totalmente imposible.

Para algunos geólogos y paleontólogos, Luis y Walter Alvarez, Rich Muller, Jack Sepkoski y yo probablemente somos parte del elemento estrafalario.

Wegener y la deriva continental

No se debería tratar de hablar del tema de los sistemas de fe dentro de la ciencia sin mencionar al menos a Alfred Wegener y sus teorías sobre la deriva de los continentes. Wegener, meteorólogo y climatólogo alemán respetadísimo, trabajó durante gran parte del primer tercio de este siglo. Entre otras cosas, hizo un importante trabajo de exploración en el casquete polar de Groenlandia (y murió allí). Pero más que nada, sintetizó la geología mundial. Se le conoce sobre todo por su teoría de la deriva continental: la idea de que los continentes están en movimiento de manera que la geografía del mundo ha cambiado espectacularmente a lo largo del tiempo geológico.

Las pruebas de Wegener eran en parte geográficas, como el hecho de que la orilla oriental de Sudamérica encaje con la orilla occidental de Africa, y en parte geológicas y paleontológicas. Trabajando con pruebas climáticas a partir de la distribución de las plantas fósiles, por ejemplo, postuló no sólo la existencia de movimientos de los continentes en el pasado, sino también la existencia de movimientos en los polos de la Tierra. Aunque sus ideas tenían muchos seguidores, se formó una fuerte

oposición en contra de la hipótesis de Wegener. La oposición dominó durante mucho tiempo el pensamiento geológico, salvo en algunos puntos —sobre todo en Sudáfrica, India y Australia— donde parte de sus pruebas originales había tenido más fuerza.

Para un estudiante de geología americano, incluso a principios de los años 60, Wegener era anatema. No se le incluía en el elemento estrafalario —sus otras contribuciones lo salvaban de ello—, pero estaba cerca. Se le mencionaba en los manuales y las clases sólo como algo cómico y para enseñar un poco de la historia de la geología. Los artículos que apoyaban la deriva de los continentes rara vez superaban la revisión a cargo de colegas profesionales y a menudo los redactores los rechazaban sin revisión.

El fuerte conocimiento convencional de la época era que los continentes y las cuencas oceánicas son permanentes, fijos; no había ninguna «razón convincente» para ponerlo en duda. Además, no había ningún mecanismo conocido para el movimiento continental.

Como casi todos los lectores sabrán, todo esto ha cambiado. Ahora, los continentes a la deriva son parte del paradigma más amplio de la *tectónica de placa*. Las montañas del Himalaya se formaron cuando la India, que se había estado moviendo muy deprisa hacia el Norte a través del Océano Indico, chocó contra el sur de Asia y arrugó este continente. Etcétera. Este cambio de paradigma se ha recibido como una gran revolución en la historia de la ciencia.

¿Cómo se produjo el cambio de pensamiento y cuánto tardó? Es un poco difícil de reconstruir, porque los recuerdos son breves y poco fiables, aunque se ha dedicado al problema una serie de excelentes obras de historia de la ciencia (en especial la obra de William Glen). El primer avance ocurrió a finales de los años 50 con el

descubrimiento de una nueva clase de datos: registros de campos magnéticos del pasado (ya mencionados en otro contexto en el Capítulo 11). A pesar del carácter convincente de los nuevos datos magnéticos, hicieron falta unos diez años de furiosas y a menudo amargas discusiones para que la comunidad científica aceptara que los continentes se mueven. A estas alturas, casi todos los resistentes originales se han convencido o han muerto, y tenemos un sólido paradigma nuevo.

Al comparar la literatura sobre la deriva continental con la del Asunto Némesis, se puede ver fácilmente un parecido en el tono y en el método de la argumentación. La deriva continental era culpable hasta que se demostró su inocencia.

Sistemas de fe y el Asunto Némesis

Lo que yo pregunto es: ¿Hasta qué punto los hechos descritos en este libro han estado influidos por sistemas de fe preconcebidos? ¿Los científicos que estudian Némesis han estado influidos por sus propias tendencias? De ser así, ¿el efecto es importante o banal? Al desarrollar el razonamiento, no deseo acusar a mis colegas de falta de objetividad. Esto dificultará un poco mi tarea. Una manera de hacerlo es hablar sobre todo de mis propias reacciones ante las situaciones a medida que iban surgiendo.

Ya he mencionado mis primeras reacciones ante la periodicidad en la extinción de 32 millones de años propuesta por Al Fischer. Me parecía que en su análisis todo estaba mal, desde la elección de datos hasta sus interpretaciones. Más adelante, por supuesto, estaba totalmente de acuerdo con sus conclusiones, después de que Jack y yo hubiéramos dado con nuestras propias pruebas a favor de la periodicidad. En este contexto no importa si la extinción periódica es real o no. Lo que importa es el hecho de que el análisis de Al no había cambiado nada desde el principio hasta el final de la historia: su trabajo llevaba publicado desde 1977. Se podría decir que su análisis estaba mal hecho y que yo cambié mis ideas sólo con respecto a las conclusiones, no a la forma en que llegó a ellas.

Un ejemplo mejor puede ser mi reseña para *Science* de la primera versión del artículo de Alvarez *et al.* en 1980. Ya he descrito lo esencial en el Capítulo 4. Pero al repasar esa reseña, me doy cuenta de que ponía en tela de juicio cosas del artículo de Alvarez que ahora me parecen, como mucho, delitos menores. Pese a mi predisposición a admitir la idea de los impactos como causa de la extinción, encontraba errores siguiendo lo que sin duda era el clásico punto de vista reaccionario. Si ahora me dieran el mismo artículo, hablando tal vez de una anomalía de iridio en algún otro punto del registro geológico, estoy razonablemente seguro de que aceptaría la mayoría de las cosas que en 1980 me parecieron erróneas, porque ahora soy un «creyente» en impactos de grandes volúmenes y su huella de iridio.

Tengo que pedirle al lector que se crea lo que acabo de decir sin pruebas. Pero permítaseme reforzarlo con una anécdota. Hacia finales de 1980, yo estaba en un cóctel en casa de un paleontólogo de la Universidad de Texas en Austin. El iridio y la extinción de los dinosaurios eran temas típicos de conversación en los cócteles de aquella época y yo estaba con un pequeño grupo hablando precisamente de eso. El tono de casi todos los comentarios era más bien negativo. Yo estaba hablando del artículo de Alvarez y estaba a punto de decir: «No sé dónde estudió Walter Alvarez, pero no me cabe duda de que es un geólogo pésimo.» Pero antes de que pudie-

ra empezar a decirlo, un respetadísimo geólogo estructural llamado John Maxwell dijo: «Y Walter Alvarez era el mejor estudiante que he tenido jamás en Princeton.» Maxwell se había trasladado de Princeton a Texas hacía poco y entonces supe dónde había estudiado Walter. Lo que quiero decir es que el comentario que tenía en la punta de la lengua era puro prejuicio. Mi único contacto con Walter Alvarez había sido al leer ese único manuscrito, que estaba dedicado sobre todo a la física de su padre y a la química de sus dos colegas. Estaba difamando el resultado de una investigación que no me gustaba. Esto no es raro dentro de la ciencia.

Un control importante en el Asunto Némesis ha sido y lo sigue siendo la filosofía lyelliana. Recuerden por el Capítulo 2 lo que decía Charles Lyell:

> ... no estamos autorizados, en los inicios de nuestra ciencia, a recurrir a agentes extraordinarios. Nos atendremos a este plan... porque... la historia nos informa de que este método siempre ha puesto a los geólogos en el camino que conduce a la verdad.

Esto se parece mucho a la verdad revelada de los fundamentalistas. Y el dogma sigue con nosotros en gran medida, aunque a veces es difícil de demostrar porque la forma de expresarlo cambia. Como el editorial del *New York Times* citado en el Capítulo 10, que terminaba así:

> Los astrónomos deberían dejar a los astrólogos la tarea de buscar las causas de los acontecimientos terrenales en las estrellas.

Esto expresa, como lo expresaba el juez Greenfield, que se pueden descartar automáticamente, sin hacer ningún estudio, las causas extraterrestres de las cosas que ocurren en la Tierra. Sospecho que llegará el día, tal vez

bien pronto, en que recordaremos este período y nos preguntaremos cómo pudimos llegar a pensar que la Tierra no podía ser afectada por todas esas cosas que pasan raudas girando sobre nuestras cabezas.

Epílogo

Comencé este libro con dos propósitos. Uno era describir los hechos que condujeron a la teoría de Némesis y explorar el problema científico de la extinción en masa en relación con Némesis. El otro era explicar un poco cómo funciona la ciencia: un vistazo desde las trincheras.

Como es inevitable, el primer propósito no se ha cumplido. La historia no ha acabado aún. No se ha encontrado a Némesis (o al Planeta X o lo que sea). Es decir, la afirmación de la periodicidad en la extinción, que es en lo que se basa Némesis, todavía se está discutiendo y se están buscando nuevas pruebas. Aunque el impacto de meteorito en el límite K-T es prácticamente un hecho comprobado, el eslabón con la extinción biológica no se ha remachado aún. Y las pruebas de impactos en las otras extinciones son de calidad variable.

Cada mes llegan nuevas pruebas, a veces cada semana. La mayor parte todavía está inmadura y necesita más elaboración, pero lo que queda puede cambiar radica-

mente la idea global, ya sea a favor o en contra de Némesis. Un ejemplo es el estudio preliminar de aminoácidos en el límite K-T expuesto a finales de 1985 en el congreso anual de la Geological Society of America (Sociedad Geológica de América) celebrado en Orlando. Nancy Lee y Jeffrey Bada, del Scripps Institution of Oceanography (Instituto de Oceanografía Scripps), hicieron análisis buscando cierto compuesto orgánico bastante raro llamado *alfa-aminoácido isobutírico* (AAIB). Eligieron este compuesto por la sencilla razón de que se encuentra corrientemente en ciertas clases de meteoritos, pero sólo se da rara vez en los organismos vivos. Por ello, el AAIB es un indicador en potencia de material extraterrestre.

Lee y Bada analizaron rocas sedimentarias en busca de AAIB en una serie de eras geológicas y lo encontraron solamente en muestras del límite entre el cretáceo y el terciario, justo donde debía estar según la hipótesis de Alvarez sobre el impacto de un meteorito en el K-T. Hay que trabajar mucho más y los dos biogeoquímicos quieren hacer muchas más comprobaciones antes de escribir un informe completo. Existe la posibilidad de que el AAIB que descubrieron fuera por contaminación en el laboratorio. Tendrán que repetir las observaciones con otras muestras del límite K-T. Pero parece muy prometedor.

El estudio de aminoácidos es un buen ejemplo de una nueva generación en el estudio del problema de la extinción. Los especialistas se plantean cada vez más preguntas como: si hubo un impacto, ¿qué predicciones específicas se pueden hacer y cuál es la mejor manera de comprobarlas?, o: si los episodios de extinción tienen una periodicidad de 26 millones de años, ¿qué predice esto sobre el comportamiento de otros fenómenos terrestres o cósmicos? La investigación se está concentran-

do rápidamente y con mayor penetración, y por ello es mucho más probable que ofrezca respuestas claras y definitivas. Es un momento muy emocionante, porque los problemas son tan nuevos que cualquier persona bien preparada y serena puede dar con la prueba o predicción definitivas.

¿Qué ocurrirá si resulta que Némesis y todas las teorías afines están equivocadas? Esto es posible, claro está. Y algunas de las teorías más especulativas que he expuesto tienen muchas probabilidades de estar mal.

No creo que pase gran cosa si las teorías resultan estar equivocadas. Por supuesto, algunas personas se sentirán avergonzadas y otras se sentirán alborozadas también. Me imagino que el próximo congreso de la Society of Vertebrate Paleontology (Sociedad de Paleontología de Vertebrados) hará una gran celebración. Pero en términos generales, la comunidad científica asimilará el hecho, porque todos estamos acostumbrados a que la ciencia progrese avanzando tres pasos y retrocediendo dos. Nadie habrá arruinado su carrera y no habrá reprimendas para nadie. De hecho, puede que algunos de los participantes más activos reciban premios profesionales por haber demostrado la imaginación necesaria para crear ideas nuevas y fomentar la investigación en nuevos campos. Se ha dicho que el éxito de un científico se puede calibrar más por la cantidad de gente que hace trabajar en problemas nuevos que por la corrección de los resultados específicos de la investigación.

Además, sea cual sea el resultado, se habrá aprendido tanto sobre los hechos de la extinción que se habrá establecido la base para una comprensión de la historia de la vida que de otro modo se nos podría haber escapado. Por ello, en mi opinión, del Asunto Némesis sólo pueden salir cosas buenas. Pero sigo teniendo la ferviente esperanza de que Rich Muller encuentre esa «estrella de

la muerte». La podemos rebautizar con el nombre de la «estrella de Berkeley».

Mi segundo propósito al escribir este libro, el «vistazo desde las trincheras», ha estado dominado, como es natural, por el tipo de ciencia que se practica en paleontología y sus recién descubiertas compañeras, la geoquímica y la astrofísica. La ciencia es una empresa sumamente pluralista y la cultura varía un poco de una disciplina a otra. La mayor parte de la investigación sobre la que he estado hablando ha sido realizada por individuos, o, como mucho, por tres o cuatro personas trabajando en equipo. En otros campos, la física de altas energías, por ejemplo, el coste de los laboratorios experimentales —además de la tradición— supone que la investigación se realice a menudo por medio de grandes equipos. (He visto un artículo de física en el que la lista de autores ocupa más espacio que el propio artículo.) Pero no creo que haya muchas diferencias básicas en la manera de practicar la ciencia. Todos los campos tienen fuertes paradigmas convencionales, que son objeto constante de críticas. Algunos están bien fundados en la observación y el experimento; otros son simples construcciones lógicas que «parecen» funcionar. Y cada tanto, se produce una revolución por la cual un viejo paradigma queda sustituido por uno nuevo. Es un área de estudios maravillosa para participar en ella, siempre y cuando uno no se tome demasiado en serio el conocimiento del momento.

Los diversos campos de la ciencia tienen un orden jerárquico muy claro. Hay una gama que va desde la ciencia «blanda» hasta la ciencia «dura». En los Estados Unidos, la biología molecular, la bioquímica, la astrofísica y la física de altas energías se encuentran ahora en el lado duro. Tienen gran autoridad sobre las comunidades científica y pública y se las considera algo más rigurosas y exactas que las demás ciencias. En el otro

extremo de la gama están campos como la ecología, la paleontología y la biología behaviorística. Se podría añadir en el extremo «blando» a las ciencias sociales, aunque muchas de las ciencias que ocupan puestos más altos del escalafón ni siquiera reconocen como ciencias campos de la economía y la sociología.

Yo creo que las diferencias entre las ciencias duras y blandas es más una cuestión de percepción —y buena comercialización— que de realidad. Algunos campos, como la economía, son inherentemente más difíciles que otros, como la física, porque se ocupan de sistemas complejos con muchos más elementos impredecibles. Las ciencias más blandas también suelen contar con más datos basados en la observación, y esto supone la ironía de que resulte más difícil construir teorías sencillas y unificadoras. Todos los campos de la ciencia tienen puntos muy blandos que no se advierten de inmediato. He oído decir en broma que los astrofísicos emplean proyectores de transparencias colgantes y rotuladores de tinta borrable, en lugar de diapositivas preparadas para las conferencias, porque es más fácil cambiar los números durante la conferencia.

Indice de ilustraciones

Indice analítico

Los números en cursiva se refieren a las páginas de las ilustraciones

Indice



Fichado

